

石油暨石化科技產業科技學術合作

八十九年度期末報告

槽車設計與其灌裝卸收作業之安全評估

計畫編號：NSC 89-CPC-7-032-004

執行期間：89 年 10 月 1 日至 90 年 9 月 30 日

委託單位：中國石油股份有限公司

計畫主持人：陳錫仁

共同主持人：韓光榮

執行單位：淡江大學化學工程學系

中華民國 90 年 10 月 31 日

中文摘要

邇來，危險性化學品之運輸安全已成有關當局與大眾矚目的焦點。化學品之貯存與輸送過程常發生事故，輸送事故會造成火災、「開放性空間蒸氣雲爆炸」與「液體沸騰氣體膨脹爆炸」。此外，毒性化學品外洩亦可能引發毒氣雲的生成，甚而污染水源。

化工廠內槽車灌裝區可說是化學品輸、儲作業中深具潛在危害的區域，若因天然災害、人為疏失或機械故障等因素而引起火災爆炸時，往往因搶救不易而導至重大的財產損失及人員傷亡。液化石油氣槽車引起的事故，於國內最近的案例，為 87 年 2 月 27 日高雄縣林園鄉某液化石油氣灌裝場發生氣槽車爆炸，造成四死四十四輕重傷，其中還包括數名消防人員。

此研究主要之目的首先在闡釋常壓、高壓槽車在設計上之安全理念，其次進行槽車事故之後果分析，最後評估灌裝與卸收作業場所之安全作業標準。

關鍵詞：槽車設計、灌裝與卸收作業、安全評估

ABSTRACT

In recent years, the transportation of hazardous materials has become a great concern of both the proper authorities and the general public in Taiwan. Transportation accidents occur during the transport and storage of hazardous hydrocarbons. Frequently such accidents result in fires, vapor cloud explosions (VCE) and boiling-liquid, expanding-vapor explosions (BLEVE). In addition to fires and explosions, the loss of containment of toxic chemicals from a tank lorry may give rise to a large toxic gas cloud or may pollute water supplies.

Loading and unloading area at chemical plants is usually considered as a potentially risky zone. Accidents, caused by natural disasters, or human errors, or mechanical failures, often result in heavy losses of properties and human lives. For instance, a recent incident occurred on Feb. 27, 1998, an LPG tank lorry station in Kaohsiung, Taiwan, exploded as a result of human error. The accident cost four lives and injured forty-four people including fire fighters.

The prime purposes of this study are three-fold. First, we begin with an interpretation of the safety concept in designing chemical tank lorries, including an atmospheric tank lorry and a pressure-liquefied-gas tank lorry. Second, we have conducted a consequence analysis for the tank-lorry accidents. Third, we have assessed the safety fundamentals on transport and storage operations for the tank lorries.

Keywords : Design of Tank Lorries, Loading and Unloading, Safety Assessment

目錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
目錄	iii
第一章 緒論	1
第二章 研究方法	3
第三章 槽車之硬體設計	5
第四章 槽車在灌裝區之環保與工安理念	16
第五章 槽車在灌裝與卸收作業之靜電控制	26
第六章 槽車安全評估與事故之後果分析	33
6-1 油罐車日曬之數學模式與其槽體破孔洩漏解析 ...	33
6-2 氣槽車之熱效應模式	37
6-3 熱輻射後果分析	49
第七章 槽車在灌裝與卸收作業之安全作業標準	56
7-1 油罐車灌裝標準作業程序	56
7-2 液化石油氣灌裝場灌裝標準作業程序	57
7-3 液化石油氣加氣站卸收標準作業程序	59
第八章 槽車事故之緊急應變與規劃	63
8-1 灌裝與卸收作業區事故	63
8-2 道路運輸事故	73
第九章 結論與建議	77
誌謝	80
參考文獻	81

第一章 緒論

邇來，危險性化學品之輸儲安全已成有關當局與大眾矚目的焦點。化學品之貯存與輸送過程常發生事故，輸送事故會造成火災、「開放性空間蒸氣雲爆炸」與「液體沸騰氣體膨脹爆炸」。此外，毒性化學品外洩亦可能引發毒氣雲的生成，甚而污染水源。

化工廠內槽車灌裝區可說是化學品輸、儲作業中深具潛在危害的區域，若因天然災害、人為疏失或機械故障等因素而引起火災爆炸時，往往因搶救不易而導至重大的財產損失及人員傷亡。

據統計指出，化學品儲運的時間約佔全部生產過程百分之七十，在正常狀況下，佔生產成本百分之三十；但是如果發生意外，則可能血本無歸。因此，應盡量減少儲運作業，否則必須確實執行化學品儲存與運輸作業安全。化學品儲存不良造成的危害，基本上有兩種類型：(1)毒性物質外洩，及(2)火災和爆炸，兩者均會造成嚴重的生命財產損失。

汽油、液化石油氣等利用槽車運輸，搬有運無以供應國內工廠、家庭及車輛為燃料，無疑的槽車對物盡其用、貨暢其流佔有相當重要的地位。然而，大部分化學槽車運送物質不是易燃液體就是高壓液化氣，是故在使用或處置這些危險性化學品同時，往往需要採取適當措施以預防事故於未然，如此方能達成安全的目的。一般而言，易燃液體之閃火點在閉杯試驗時不高於攝氏 65 度，以汽油為例其閃火點僅為攝氏零下 43 度，低於常溫輸儲溫度甚多；高壓氣體可分以下五類：(1)可燃性氣體如天然氣、液化石油氣、乙烯、乙炔、氫氣；(2)毒性氣體如氯氣、光氣；(3)可燃與毒性氣體如氨氣、環氧乙烷、氰化氫、一氧化碳；(4)惰性氣體如氮氣、二氧化碳以及(5)助燃性氣體如氧氣。

危險性化學品之輸送與儲存過程常發生事故，輸送事故常見的結果不外乎「開放性空間蒸氣雲爆炸」(UVCE)與「液體沸騰氣體膨脹爆炸」(BLEVE) [1-4]；BLEVE 是 boiling-liquid, expanding-vapor

explosion 的縮寫簡稱，係指液體貯存溫度大於大氣壓沸點溫度時，突然從封閉容器中釋放出來的一種物理現象。由於壓力突然釋放而使部份的液體氣化產生具爆炸性的蒸氣雲。大部分的 BLEVE 與可燃性液體有關，且大部分的 BLEVE 一旦被周圍的火源點燃常形成火球 (fireball)，而產生極高的熱輻射屬於相當恐怖的事故。此外，毒性化學品外洩亦有可能引發毒氣雲的生成，甚至進而污染水源。輸送事故的起始原因肇發於高壓液化氣本身、操作過程與駕駛者之互動。化學物可能著火、爆炸或腐蝕槽體，裝載或卸載化學品的錯誤動作或過度裝載引起溢流均引發事故，槽車因車禍可能造成駕駛者受傷或死亡。因此，輸送危險包括槽車碰撞、槽車翻覆解體及在裝載或卸載操作的過程上。根據美國 Garrison 報告「三十年石油/石化製造業百大災害」指出約有 30% 竟與液化石油氣相關 [5]。

常見氣槽車、油罐車因車禍而發生碰撞甚至翻覆，進而造成火災與爆炸，這是槽車輸送過程引起的事件；尤有甚者，事故發生在儲槽灌裝區內，以最近的例子，87 年 2 月 27 日，高雄縣林園鄉某高壓液化氣灌裝場發生氣槽車爆炸，造成四死四十四輕重傷，其中甚至還包括數名消防人員。在此災害中，由媒體報導與電視轉播，曾見場區中幾個主要球型儲槽幾乎受鄰近火災侵襲，而險些釀成 BLEVE 巨災，可說是驚險萬分。高壓氣體可說是一種「既期待又怕受傷害」的化學品；它是一種利用價值甚高的產品，除了廣泛當成石化產品與其衍生物的原料與進料。此外，高壓液化氣(如 LPG)也廣泛當成車用燃料，以降低汽車排放對環境的污染。

此研究主要之目的首先在詮釋常壓、高壓槽車在硬體設計上之安全理念及灌裝與卸收作業之靜電控制，其次進行槽車事故之後果分析 (consequence analysis)，最後評估灌裝與卸收作業之安全作業標準 (SOP)。

第二章 研究方法

中油公司與其經銷商在槽車相關作業方面似以汽油與液化石油氣為大宗，因此在本報告中挑選為研究對象，汽油槽車與液化石油氣槽車分別代表常壓、高壓化學槽車。易燃液體的油罐車為橢圓型 (elliptic shape) 胴體，高壓氣體槽車則為圓柱型 (cylindrical shape) 胴體外加 2:1 之橢圓端板。槽車的結構安全性及意外之防範，有一定之標準和規範，非經交通監理單位檢驗合格，不得發照上路。靜電危害對於工業界安全的影響不容忽視，於煉油與石化工業，儲槽若因靜電處理不慎，發生火花放電引燃易燃性物質，會導致儲槽火災；此外，在化學槽車灌裝與卸收作業中，儲槽與槽車間之管路輸送亦會伴隨靜電產生，對於廠內之灌裝卸收區也具有相當程度的危險性。靜電理論提及任何兩種不同物體間的移動或接觸，都會產生靜電，所以流體的移動會造成電荷累積，當靜電之電壓達 350 V，且其能量達 0.25 mJ 時 [6]，就會放電而產生火花，進而點燃易燃性物質，造成燃燒甚至爆炸的危險。本研究擬闡釋此理論以探討化學槽車在其灌裝卸收過程中，靜電安全對於流體流動速度的限制。目前就汽油而言，在灌裝作業時，開始灌裝的速度不得超過每秒 1 公尺，灌裝管入口完全浸淹沒入汽油後，灌裝汽油速度應限於每秒 7 公尺。

本研究主要在闡釋油罐車與氣槽車在硬體設計、靜電控制上之安全理念，其次進行槽車安全評估與事故之後果分析，最後評估灌裝與卸收作業之安全作業標準。研究方法包括：分析槽車輸儲作業之災害案例、評估槽車之槽體附屬安全裝置、卸收作業之安全作業標準、探討槽車之運輸安全、提出槽車事故發生時相關之緊急應變與規劃等等。此研究在執行步驟上包括：

1. 蒐集國內油罐車與氣槽車目前硬體設計狀況。
2. 分析油罐車與氣槽車在灌裝區之環保及安全理念。
3. 分析槽車靜電控制在灌裝與卸收作業上之安全理念。

4. 進行槽車安全評估與事故之後果分析。
5. 評估油罐車與氣槽車灌裝與卸收作業之安全作業標準。
6. 探討槽車之運輸安全。
7. 建立槽車事故發生時之因應對策。

第三章 槽車之硬體設計

一般而言，易燃液體的油罐車為橢圓型胴體，高壓氣體槽車則為圓柱型胴體外加 2:1 之橢圓端板。油罐車的結構安全性及意外之防範，有一定之標準和規範，非經交通監理單位檢驗合格，不得發照上路。監理部門通常要求：槽體之外型得為圓筒型、橢圓型或具圓弧之箱型。槽體之內部應以隔板分櫃，各櫃內部並依其長度酌設防波板，櫃長三公尺以上者設兩道，未滿三公尺者設一道，防波板之中央，開一直徑三公分以上之圓孔，以防運補中油料之激盪或調節用。人孔及蓋，以隔板所分隔之油櫃，其頂部需各設 40 公分以上或 30 x 40 公分以上之橢圓型人孔及蓋，人孔及人孔蓋間，墊以耐油之墊片。通氣閥：每一人孔蓋上裝設通氣閥，通氣閥應具排氣閥和真空進氣閥之作用，排氣閥及真空進氣閥各裝有鋼珠式裝置，防止液體溢流。安全閥：裝置於罐體氣體空間之適當位置，原則上每櫃一個，安全閥之裝設需有車輛傾覆時防止液體溢流之功能。基於安全著眼，除上述配備外，槽體之頂並設置護板，槽體兩側及後端下方，皆視需要設護板或支架，罐體下緣之兩邊，配合車輛大樑之寬度，各焊設以 4.5 公釐以上厚度之支架兩條，支架長度須與罐體長度同長，並固定於車輛之大樑，使不致前後左右滑動。保險桿與槽體距離亦須符合 CNS 國家標準。圖 3-1 為 14 公秉油罐車罐體及底盤外型與各部分之零件表，圖 3-2 為 8.5 公秉油罐車之管路系統圖。

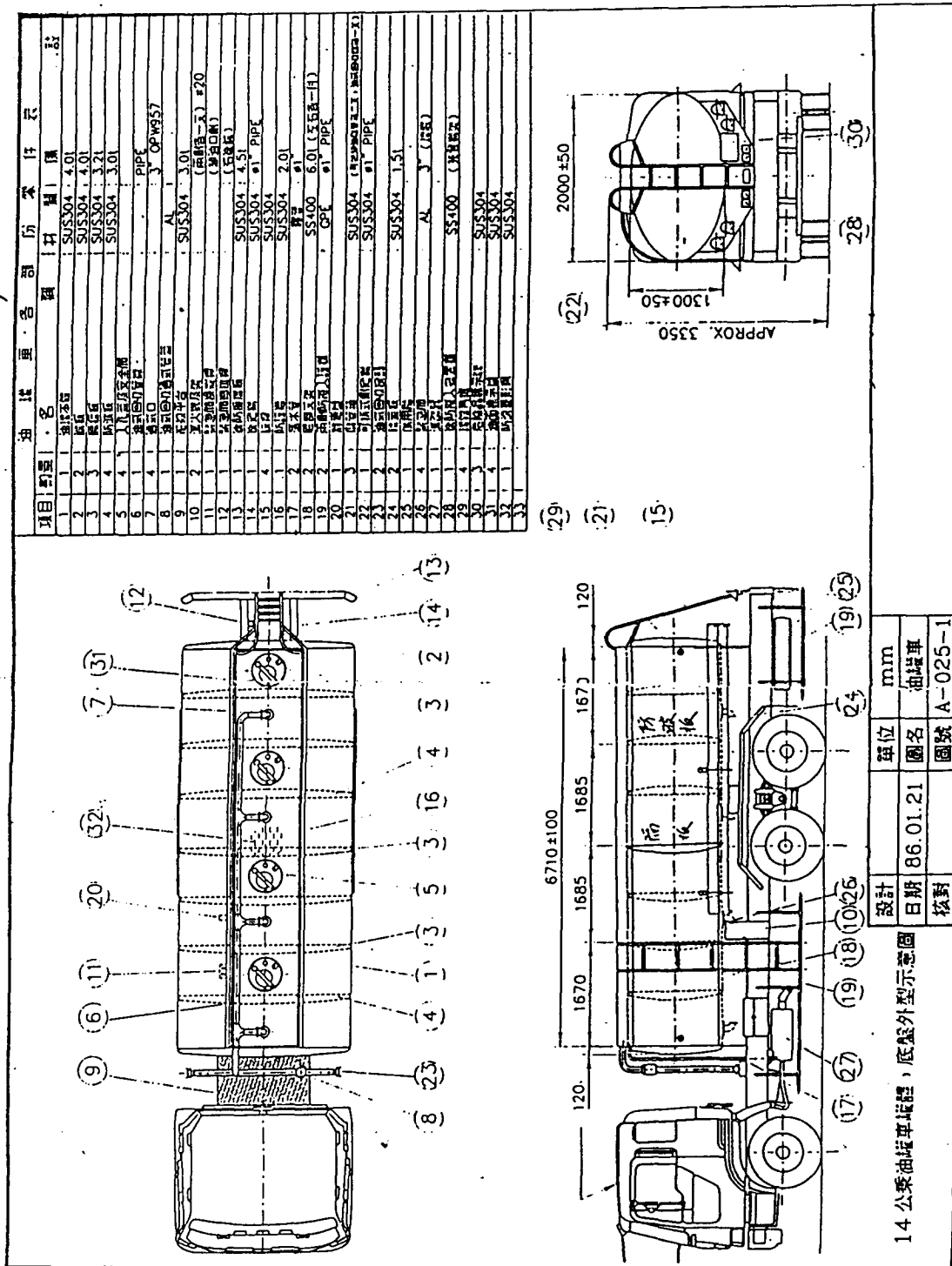


圖 3-1 14 公秉油罐車罐體、底盤外型與各部分之零件表

液化石油氣利用氣槽車運輸，供應國內車輛、工廠、家庭及餐飲業之燃料，無疑地氣槽車對貨暢其流佔有相當重要的地位，而裝載物質屬「易燃高壓氣體」此類槽車除了受限於交通法規有關尺寸規格及重量負荷等要件外，氣槽車容器須通過勞委會授權代行檢查機關依據行政院勞委會發佈之「危險性機械及設備安全檢查規則」第四節高壓氣體容器及 CNS7248 Z3018「液化石油氣汽車運輸槽體標準」的檢驗合格證明，才得以掛牌上路。因此，液化石油氣槽車之安全設備是否完備對於運輸安全極其重要。

一般而言，氣槽車安全裝置及附屬裝置比油罐車要求更為嚴格，液化石油氣槽體屬高壓積體容器，材料之抗拉強度須用高張力之鋼材外，槽體內部須裝設防波板 (baffle plate)，防波板應於槽體內部與車輛進行方向成直角，面積須槽體橫斷面積 40% 以上，間隔之內容積在 3 m^3 以下，其裝設以電焊為原則，須具有足夠強度不因液面衝撞而破壞，且以防波板隔開之內容積應在 3 m^3 以下，用厚 3.2 mm 以上 SS400 鋼板製成；安全閥數量以 45 m^3 容量而言需有兩個安全閥，選用安全閥應為彈簧內藏式；緊急遮斷閥 (emergency shut-off valve) 以鋼絲繩操作型式，在安裝狀態下其連接處鎖緊部之鋼絲不得有鬆弛，且放鬆鋼絲繩張力時，應具立即關閉機能，同時應連接於槽車尾端遙控操作遮斷之機構；裝卸液化氣之管路除裝設緊急遮斷閥外，尚需裝設超流閥 (excess flow valve)，如此即使緊急遮斷閥未關，管路拉斷後，超流閥啟動而自動關住，可保槽內液體不致噴出；液面計應採用於常溫狀態能夠確實測定液化石油氣最高液面之差壓式、滑管式或旋臂式，尤以旋臂式 (rotary) 液面計較佳；壓力錶應裝設在通槽體內之氣相部份，且應有基部閥；溫度錶其感溫部應裝設在槽體之液相部位；操作箱應採用厚 3.2 mm 以上 SS400 鋼板製成；曳引車須裝排氣管、消音器及火花防止裝置，且與槽體液化石油氣灌裝口保持 200 mm 以上距離；此外，針對國人駕駛惡習，槽車「防止駛離裝置」

或亦應考慮裝設。圖 3-3 為 45 公秉氣槽車之設計簡圖 [7]。

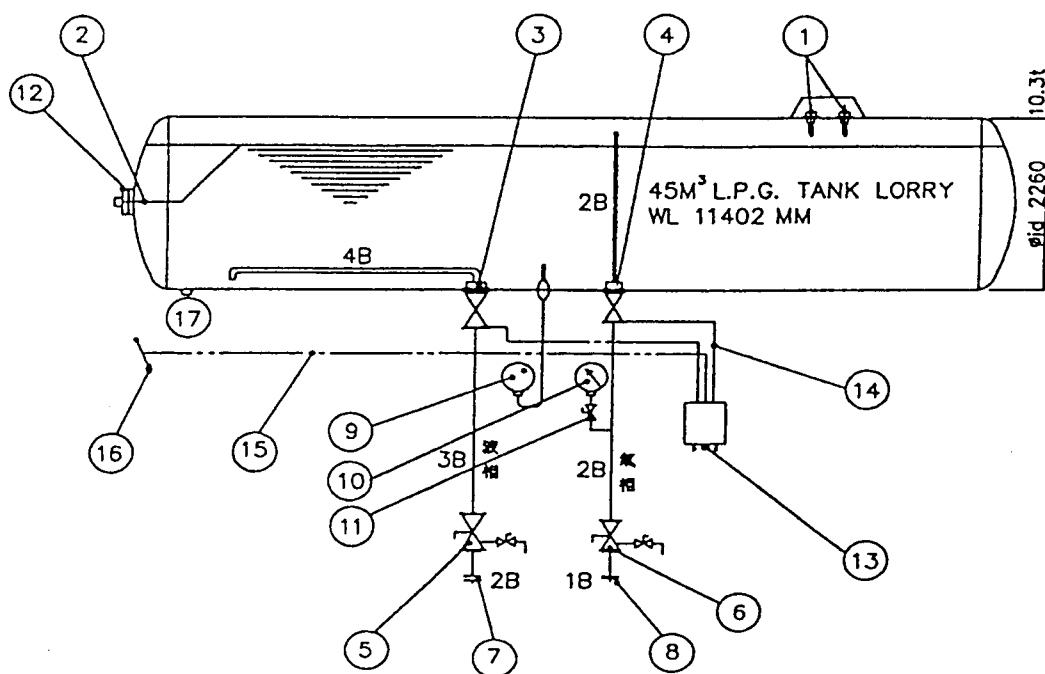


圖 3-3 45 公秉氣槽車之安全設計簡圖

上圖之編號說明於下之簡表：

編號	名稱	尺寸	數量
1.	釋壓閥(安全閥)	2"	2 個
2.	旋臂式液位計	5"	1 個
3.	液相緊急遮斷閥(附超流閥)	3"80A-20k	1 個
4.	氣相緊急遮斷閥(附超流閥)	2"50A-20k	1 個
5.	液相停止閥(附排氣閥)	2"50A-20k	1 個
6.	氣相停止閥(附排氣閥)	1"25A-20k	1 個
7.	液相接頭蓋	2"	1 個
8.	氣相接頭蓋	1"	1 個

9.	溫度計(-30 至 70°C)	φ100	1 個
10.	壓力錶(0 至 25 kg/cm ²)	φ100	1 個
11.	壓力錶之停止閥	3/8"	1 個
12.	人孔蓋	φ500	1 個
13.	操作桿(緊急遮斷閥之作動控制)		1 個
14.	作動線(氣液相緊急遮斷閥)		2 個
15.	作動線(緊急遮斷閥)		1 個
16.	緊急遮斷閥桿		1 個
17.	排放孔		1 個

液化石油氣槽車中隨車之附屬安全設備有：

- 1.滅火器：檢驗合格之乾粉滅火器兩側各一具。
- 2.車高測驗棒：裝在車輛駕駛室頂部高於槽頂 10 公分以上具有可撓性。
- 3.側面護欄：裝於前後兩輪間底部，離地面高度不得超過 45 公分，以防人車捲入。
- 4.擋泥板：裝於輪蓋板後部。
- 5.接地：裝置於液相與氣相配管連通銅板，使各部電位相同。
- 6.電氣設備應有防止電氣短路且燈光及配線確實固定並保持不受外來因素損傷之狀態。
- 7.曳引車須裝排氣管、消音器及火花防止裝置，與其槽體液化石油氣灌裝口保持 200 mm 以上距離。
- 8.曳引車之燃料系統，輔助油箱之位置應較主燃料油箱位置稍高，使油料能經常流向主油箱，必須之油管接頭外其他開口應加盲蓋。

氣槽車現況分析

茲以 45 m³ 高壓液槽半拖車型氣槽車為例分析於下：

一、概述：此型半拖車為專門運送液化石油氣所用，其設計、製造、施工等必須符合中國國家標準及道路交通安全法規，並經交通部核准在案。

二、主要尺寸(參見圖 3-4)：

(1)車輛尺寸：	全長	12,000	公厘
	全寬	2,500	公厘
	全高	3,750	公厘
(2)空車重量：	全重	12,200	公斤
	第五輪荷重	2,500	公斤
	後輪荷重	3,750	公斤
(3)最大載重：		19,500	公斤
(4)滿載重量：	全重	31,700	公斤
	第五輪荷重	11,721	公斤
	後輪荷重	19,979	公斤

三、槽體容器：

(1)尺寸：	內徑	2,200	公厘
	全長	11,320	公厘
(2)滿載容量：		44.7	公秉
(3)胴體及端板：	材料	SPV490Q(JIS-g-3115)	
	抗拉強度	最小:62 公斤/平方公分以上	
	降伏點	最小:50 公斤/平方公分以上	
	厚度	1.胴體	10.3 公厘
		2.端板	11 公厘

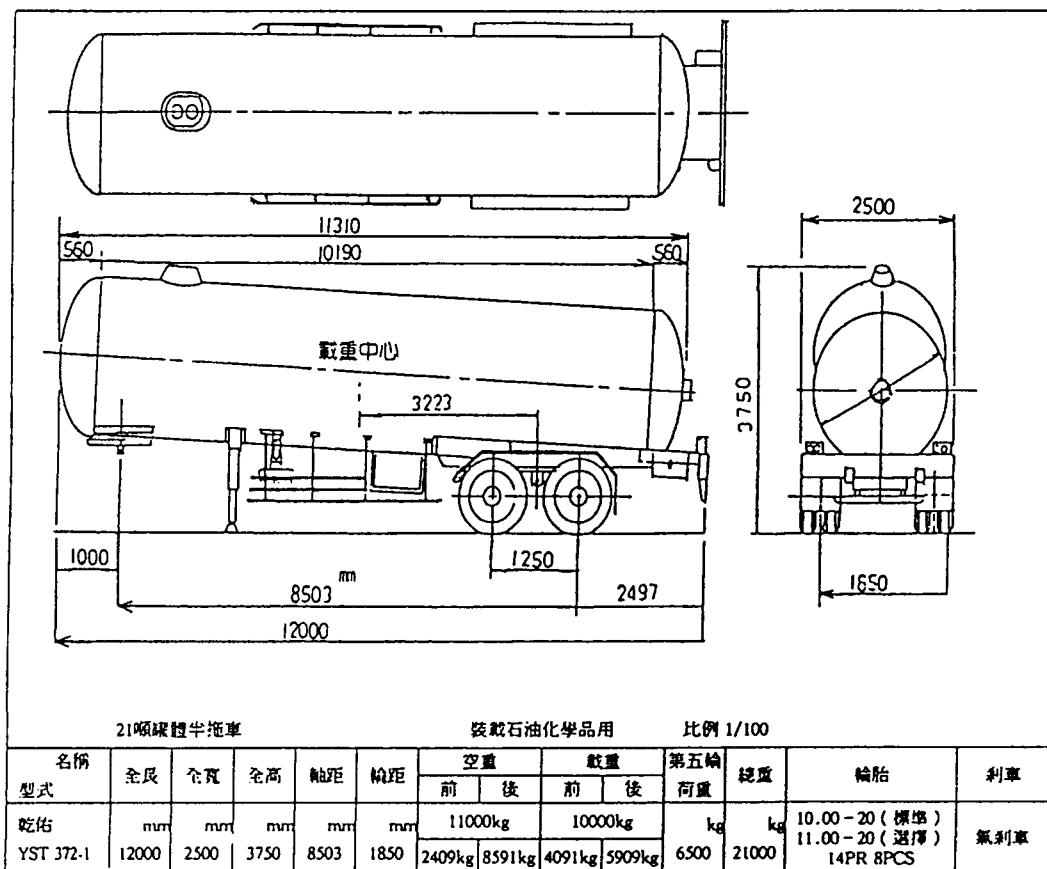


圖 3-4 45 m³ 半拖車式 LPG 槽車

- (4)X 光照射： 容器焊道 100% X 光完全照射檢查
- (5)退火處理： 槽體完成組焊後，整槽送至退火爐中作完全應力消除處理
- (6)設計壓力： 18 公斤/平方公分(攝氏 55 度時)
- (7)水試壓力： 30 公斤/平方公分
- (8)安全閥設定壓力： $24^{+0}_{-3.6}$ 公斤/平方公分

四、閥與配件：

國內乾佑公司所製造的氣槽車，所有閥件均為日本進口宮入廠

牌，具有 API 認可證書，其連接部份均為 JIS20KRF 法蘭固定。詳細名稱規格如下：

項次	名 稱	尺 寸	數 量	廠 牌
1.	人 孔 蓋	16"	1	乾 佑
2.	安 全 閥	2½"	2	宮入
3.	液 面 計	5"	1	宮入
4.	緊急液相閥	3"	1	宮入
5.	緊急氣相閥	2"	1	宮入
6.	液相出口閥	2"	1	宮入
7.	氣相出口閥	1"	1	宮入

五、氣槽車之製作流程

國內乾佑公司所製造的氣槽車之製作流程如圖 3-5 及圖 3-6。

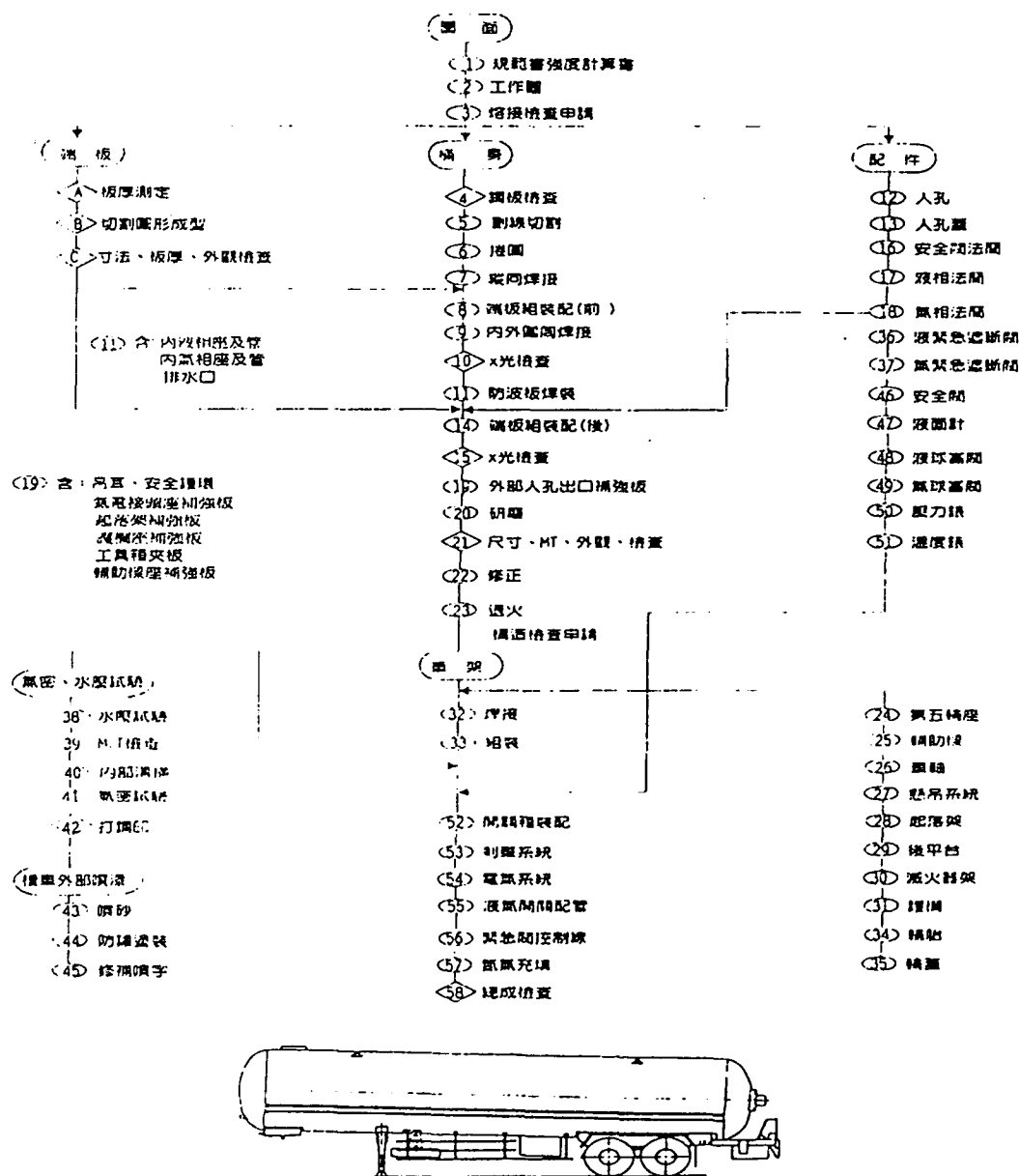


圖 3-5 45 m³ 半拖車式 LPG 槽車之製作流程

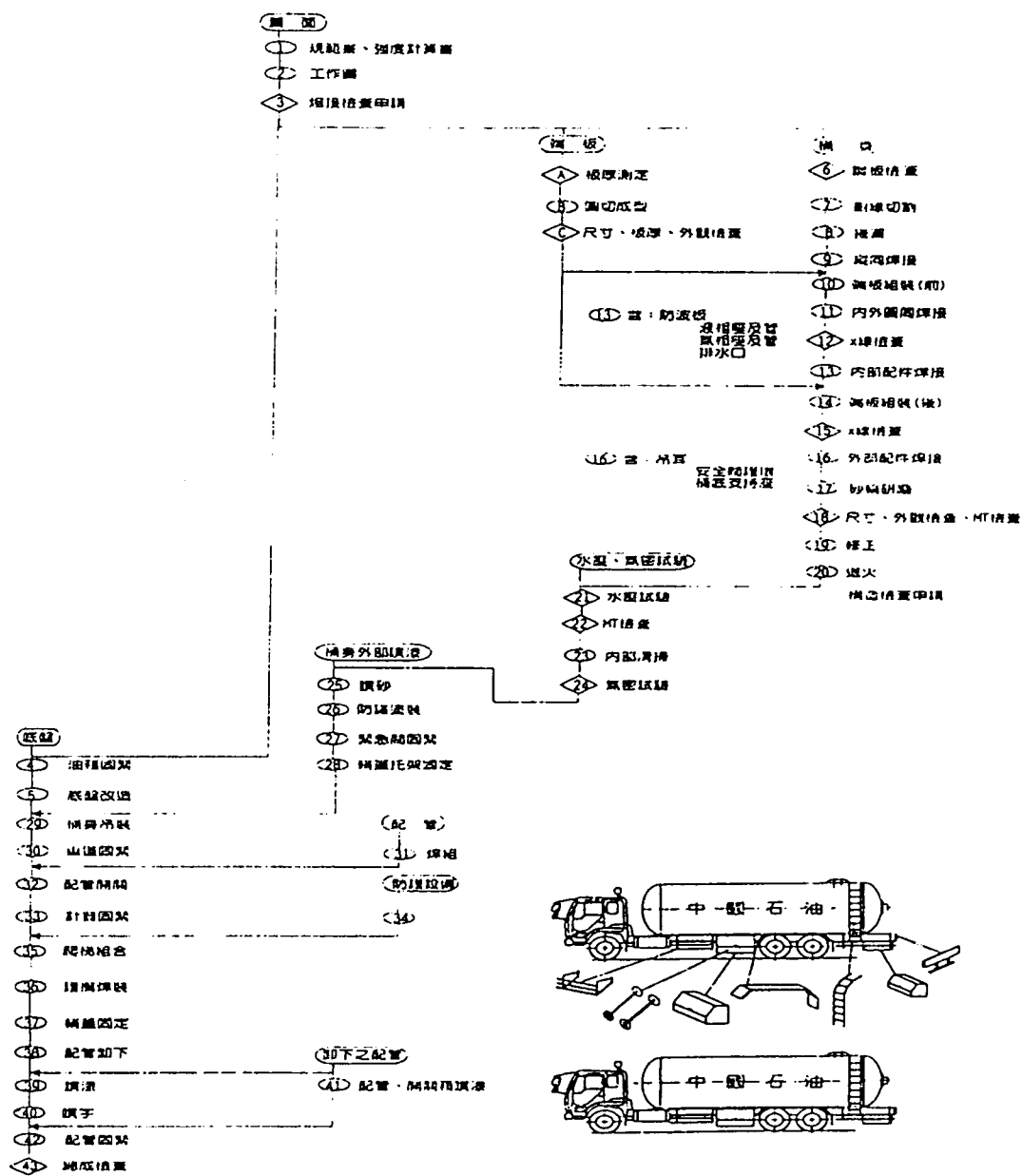


圖 3-6 23 m³ 底盤式半拖車式 LPG 槽車之製作流程

第四章 槽車在灌裝區之環保與工安理念

圖4-1與圖4-2為油罐車灌裝區之作業，一般而言，在確認「油罐汽車裝油通知單」或「提油登記單」後，隨即陸續完成以下動作：油罐車司機將油罐車駛至灌裝島需將油罐車關閉引擎、入檔、拉上手煞車。置放前後輪輪擋。油罐車接地。接油氣回收臂(只限灌裝95及92無鉛汽油的油罐車)。接灌裝快速接頭，打開VALVE並開啟油罐車上緊急閥。油罐車司機將流量計予以歸零後刷磁卡，若准許灌油指示燈亮則可按灌油按鈕開始灌油。司機駐守現場監控，留意有無漏油情形發生，若發現漏油或其他不正常現象，應立即按暫停按鈕停止灌油，並通知灌裝場工作人員檢查原因，待克服問題後繼續灌油。灌裝完畢後，關閉緊急閥，關VALVE拆快速接頭並放於定位。拆油氣回收臂並放回定位。拆除接地並放置定位。前後輪輪擋移除並排放整齊。油罐車開離灌島。最後進行鉛封作業，油罐車必需進入指定鉛封區方予以鉛封，若油罐車司機欲暫停休息，可以暫緩進入灌島灌油或灌完油後將車輛停放於暫停區內，但禁止佔據鉛封區車輛行進動線。油罐車於進入指定鉛封區後，應熄火入檔並拉手煞車，並下車領取自動裝油記錄單，俟鉛封人員鉛封及車輛檢查工作完成後，再行起動車輛離開。油罐車於指定鉛封區時應配合鉛封人員之引導，並於鉛封後應立即將車輛駛出不得佔據鉛封區。鉛封人員平時應留駐於鉛封崗亭待命，並隨時機動調整人力，以提高指定鉛封區內油罐車週轉率，維持鉛封區車輛行進動線之順暢。

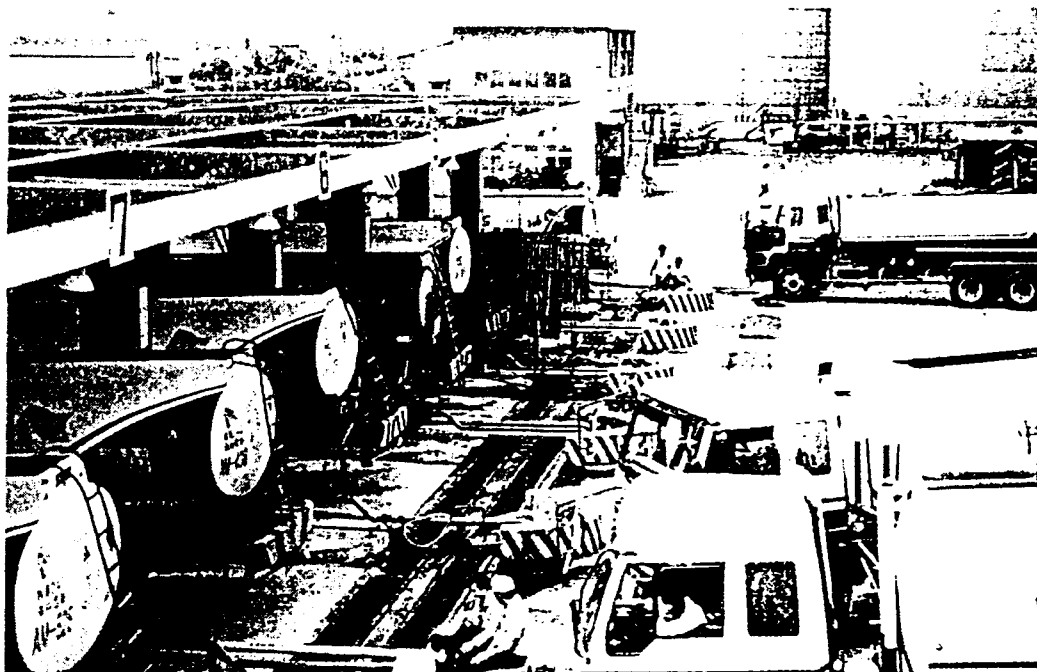


圖 4-1 油罐車灌裝區之作業

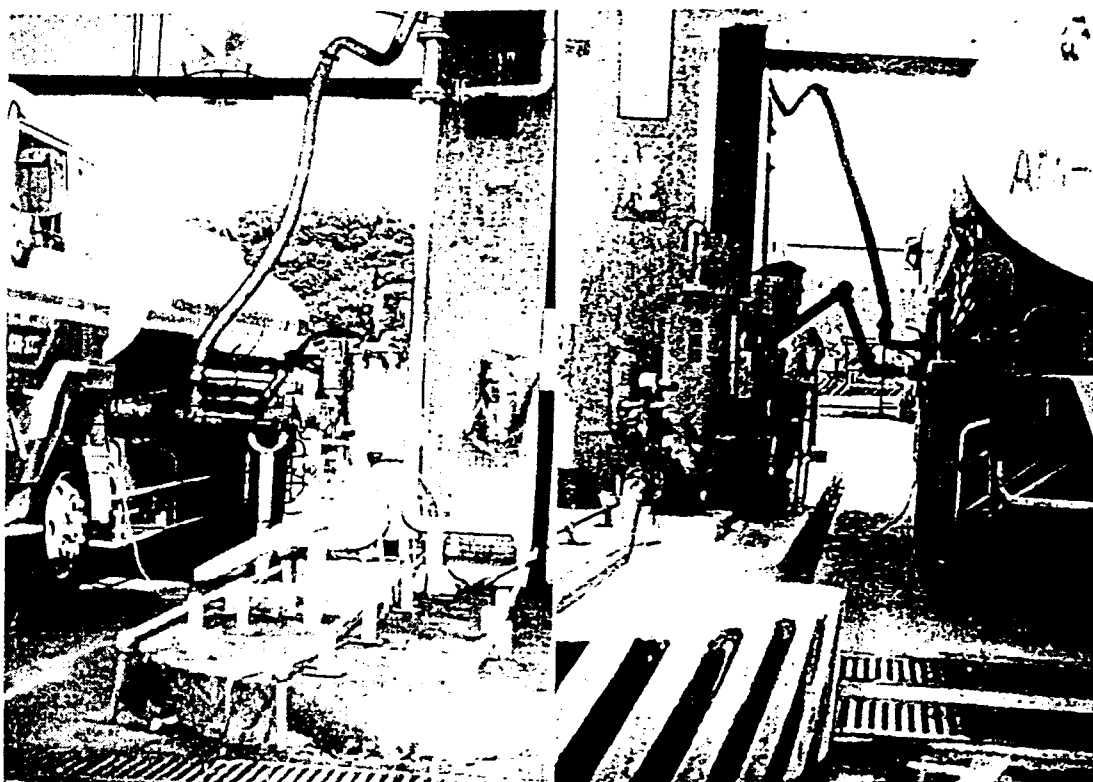


圖 4-2 油罐車灌島區之作業

值得一提的是灌裝作業時的「接油氣回收臂」動作，此乃因近年來環保問題已普遍受到高度的重視與關切，煉油廠、石化工廠、油槽的高揮發性油料的裝卸或油輪，油罐車輕質油料的進出時所產生的碳氫揮發性氣體 (Volatile Hydrocarbon Organic Vapor)，若逸散至大氣中，即成為光化學 SMOG 的生成物質，污染大氣且為惡臭源，故基於安全、污染及經濟上之理由，設置油氣回收系統以達到保護環境，能源再回收利用。依據環保署86年2月5日公告之「揮發性有機物空氣污染管制及排放標準」，第五章『揮發性有機液體裝載操作設施』內容規定，揮發性有機液體裝載操作設施應配備蒸氣收集系統連通至污染防制設備。裝載操作設施之排氣係採非破壞性物料回收處理方式，其揮發性有機物排放削減率需大於或等於85%或排放濃度小於或等於300 ppm，且污染防制設備之廢氣導入處應設置流量監測設備，並應設置足以有效監視其正常操作之連續自動監測設施。為解決油槽儲存、油罐車、油輪等操作時排放出來的揮發性油氣有機物，目前已發展出各種油氣回收處理系統，有1. 貧油吸收法 (Lean Oil Absorption Process); 2. 活性碳吸附法 (Activated Carbon Adsorption); 3. 直接冷凝法 (Direct Condensation); 4. 薄膜-分離法 (Membrane-Separation) 及 5.直接焚化法 (Direct Combustion)。

液化石油氣之灌裝與卸收作業程序相當標準化，以下四個流程圖[8]，代表其安全作業步驟：圖 4-3 是儲槽由氣槽車卸收流程，圖 4-4 是儲槽直接卸收流程，圖 4-5 是氣槽車灌裝流程，圖 4-6 是鋼瓶灌裝流程。

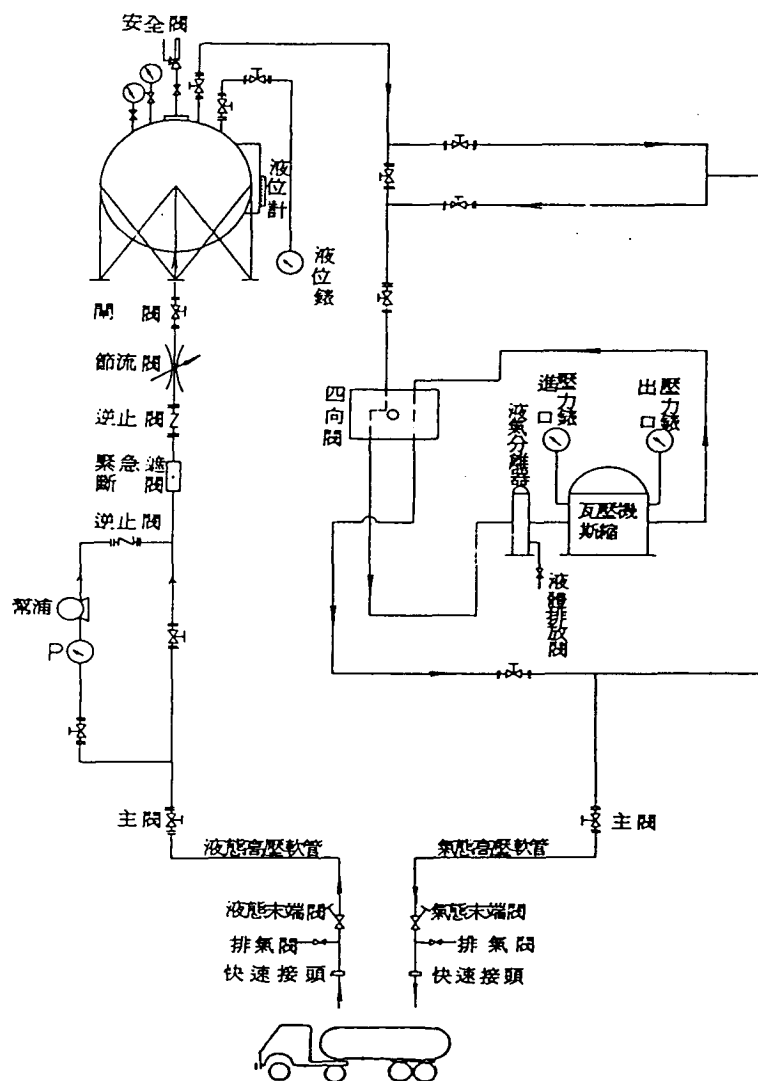


圖 4-3 儲槽由氣槽車卸收液化石油氣流程圖

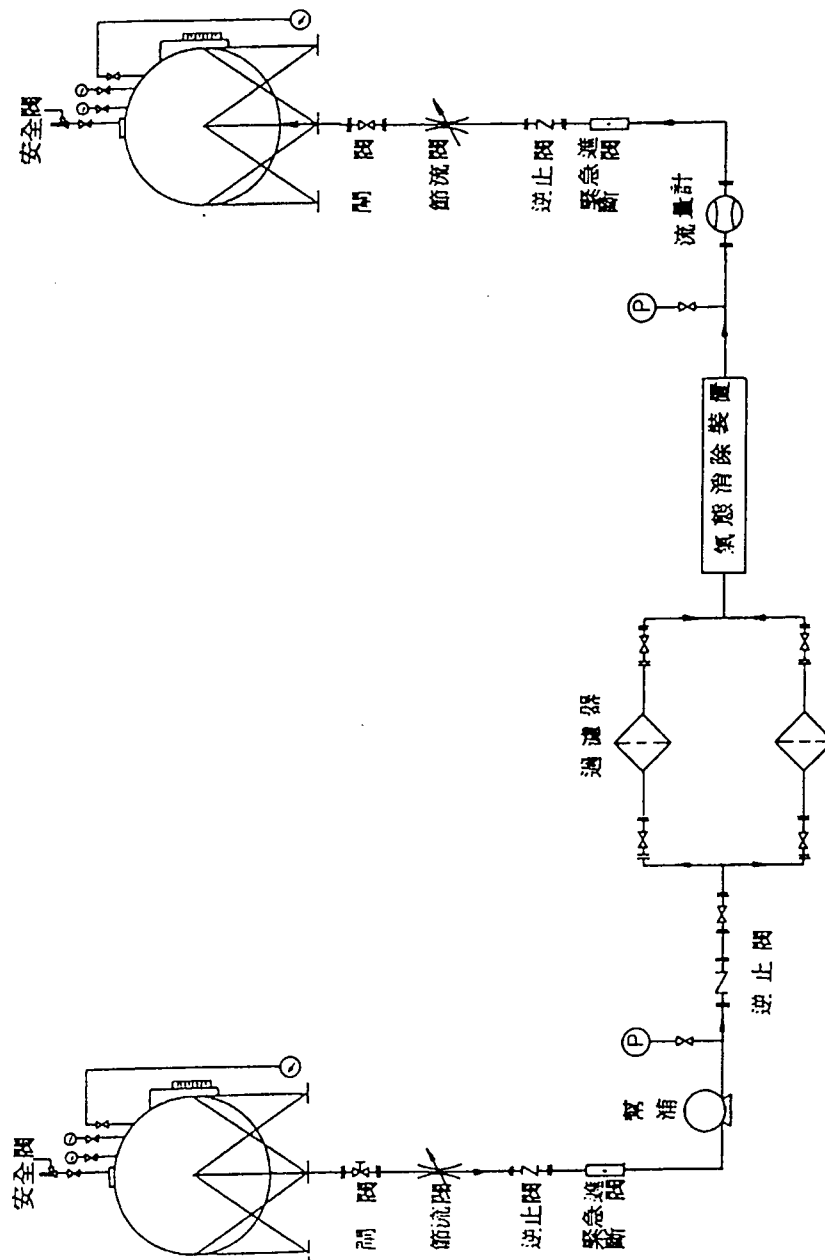


圖 4-4 儲槽直接卸收液化石油氣流程圖

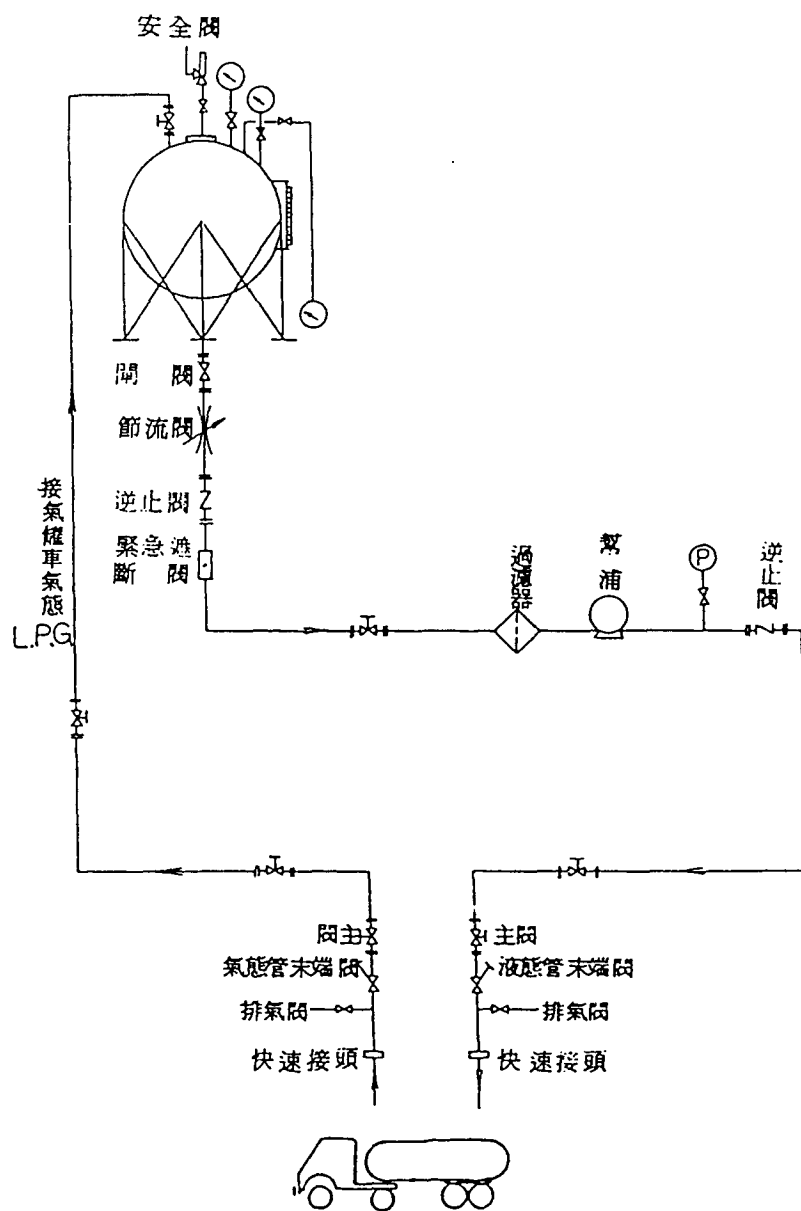


圖 4-5 氣槽車灌裝液化石油氣流程圖

加氣站設備系統

目前台灣的加氣站並不是很多，僅有數家，但已有數家民間機構陸續設置加氣站，而加氣站的設備系統也已標準化。以下三個流程圖，為其安全作業流程：圖 4-7 為卸收系統；圖 4-8 為加氣系統；圖 4-9 為消防系統。

1. 卸收系統

液化石油氣方卸收係以壓縮機及卸收臂將氣槽車內之液化石油氣送至儲槽內。

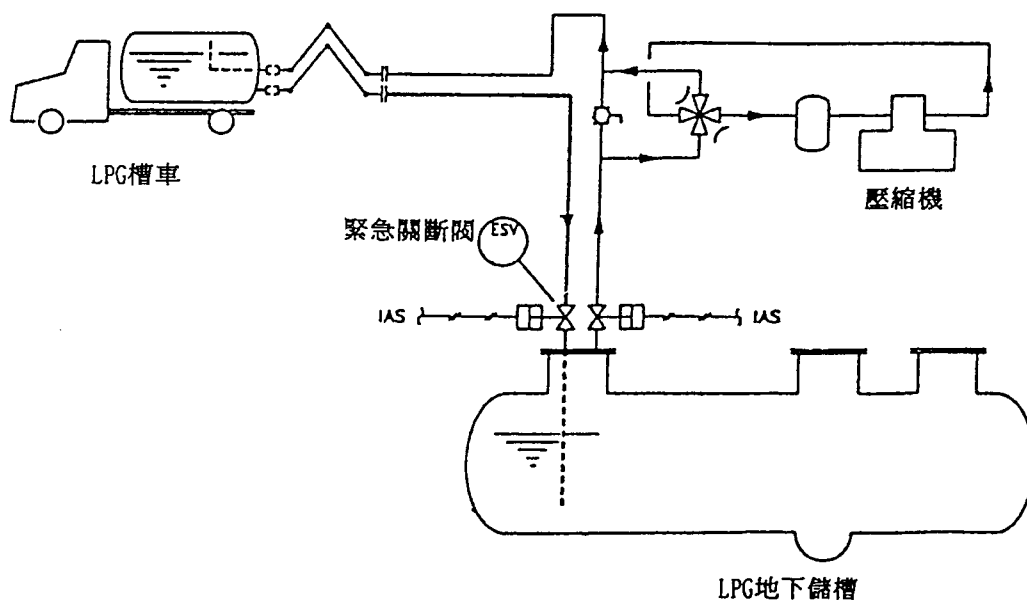


圖 4-7 液化石油氣加氣站之卸收系統

2.加氣系統

加氣系統由泵浦抽取儲槽內液化石油氣送到加氣機計量加氣。

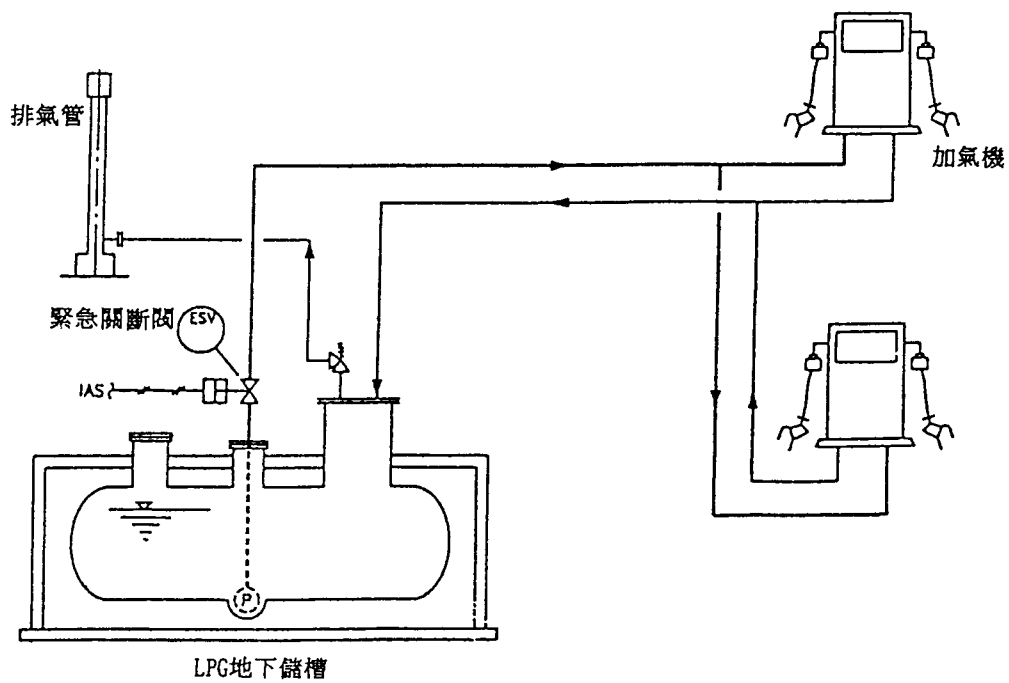


圖 4-8 液化石油氣加氣站之加氣系統

3.消防系統

消防系統包括自動撒水系統、消防泵、消防水池、消防栓、滅火器及法規規定之必要消防設施。

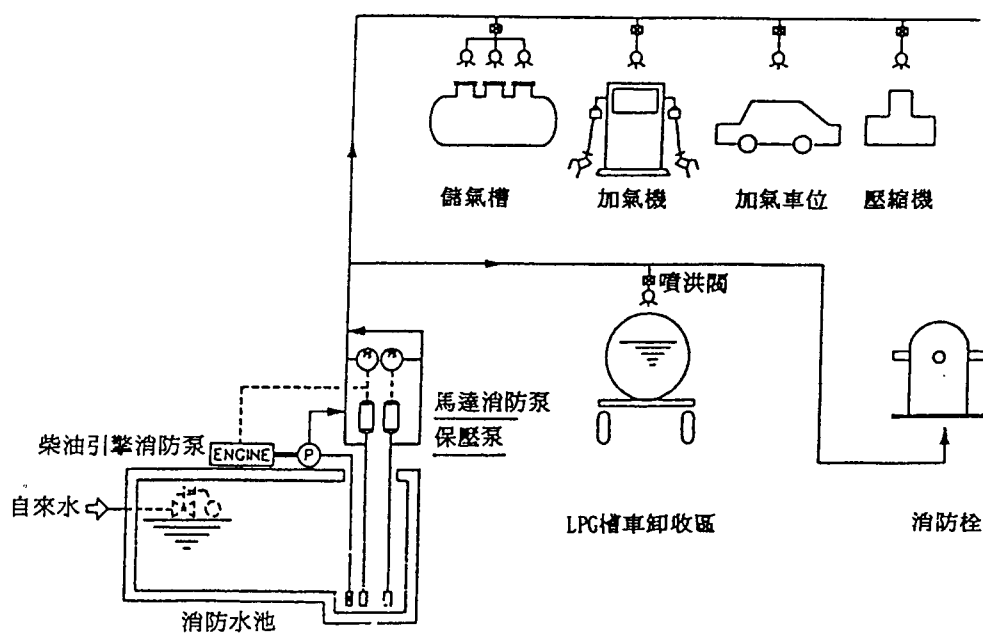


圖 4-9 液化石油氣加氣站之消防系統

第五章 槽車在灌裝與卸收作業之靜電控制

槽車在進行灌裝作業時，化學品在管線中流動，以及化學品灌入槽車，造成液體噴濺或液面的擾動，槽體與流體會因電荷分離造成靜電荷累積，這些靜電荷若無法及時的消散，最後會產生火花放電而引燃化學品，導致火災或爆炸。表 5-1 列舉導體性流體(如丙酮、甲醇、酚、三氯乙烷)、半導體性流體(如二氯乙烷及汽油)及非導體性流體(如苯、甲苯、二甲苯)之靜電相關特性係數。

表 5-1 常用化學品之靜電相關特性係數

	導電度(pS/m)*	介電常數	靜電散逸時間(sec)
導體性流體	> 10000		
丙酮	6E6	20.7	3E-5
甲醇	4.4E7	32.7	6.6E-6
酚	1E6	9.78	8.7E-5
1,1,1-三氯乙烷	7.3E5	7.53	9.7E-5
環氧乙烷	4E6	12.7	2.8E-5
乙二醇	1.16E8	37.7	2.9E-6
半導體性流體	50 ~ 10000		
二氯乙烷	4E3	10.36	2.2E-2
汽油	> 50	2.3	< 0.41
非導體性流體	< 50		
苯	5E-3	2.3	~ 100
甲苯	< 1	2.38	21
二甲苯	0.1	2.38	~ 100

$$* 1 \text{ pS/m} = 10^{-12} \text{ ohm}^{-1} \text{ m}^{-1} = 10^{-14} \text{ ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$$

任何兩種不同物質間之相互移動或接觸均可產生靜電，因此兩種物質都帶有電荷。但如其中一種物質是導體並裝有接地線，則所產生之電荷即消失。靜電之主要危險，是當相當能量的電荷積聚到放電的程度而產生了火花，以致引發可燃性混合物，造成燃燒或爆炸等災害[9]。藉由排除靜電的方法，以防止電荷積聚至足夠能量而跳火，可大為減少由靜電引發的事故。極大多數導電性物質或裝置，可利用聯結(bonding)與接地(grounding)的方法以排除靜電。

「聯結」與「接地」兩個名辭不能互相混用，因為這兩種方法有兩種不同的作用：聯結是消除兩個物體間的電位差，接地是消除物體與大地間的電位差。然而「聯結」與「接地」均是可應用於導電性的物體才能有效。聯結可平衡物體與物體間的電位差，但卻不能消除物體與大地間的電位差。在裝設聯結的物體上仍會有電荷停留，除非物體之一連有適當的導線通至大地—接地裝置。專家們同意須用聯結的方法來平衡兩物體間的電位，使靜電火花無從由一物體跳過間隙至另一物體之上，但並未一致同意於何時應將裝有「聯結」的物體加裝「接地」以消除靜電荷。在某些情況下，有「聯結」而無「接地」的裝置已被認為是適當的。在另一些情況下，「聯結」與「接地」卻皆屬必需。除了在儲槽內部表面之感應電荷被緊牢束住以外，一個有效的接地裝置可隨時使導體放電。政府管轄機構應規定何種情況下應採用接地裝置，並宜規定在有懷疑存在之情況下，應加裝「接地」，以強化安全措施。聯結或接地裝置的結合器應有適當的導電性強度起見，宜採用 AWG8 號或 10 號或更粗的電線作為導體。對經常需作結合與打開的導體或設備常作運動者，宜採用股線。聯結或接地所用的導線可加以絕緣包紮或不加絕緣包紮，無絕緣包紮的導線易發現其折斷之處，絕緣的導線卻應定期檢查導電的連續性。

聯結與接地均需定期檢查其機械強度。整個系統的電阻可用電阻錶來測定，接地系統的有效性則可用靜電電壓計測出。粗略的估測可

用檢電器。對非導電性的物質，可利用以下方法使靜電減至最少：

1. 用接地的靜電收集器使該物質內靜電荷排出。
2. 在該物質四周佈置一個離子化的氣層。
3. 在該物質四周維持高的相對濕度。

靜電之產生並不一定表示會發生災害，靜電放電到達 0.25 微焦耳以上，且高於最低跳火電壓 350 伏特，與空氣混合即發生爆炸。在裝卸作業中安全措施的重點，即在防範靜電的發生與積聚，以及設法使靜電荷消失。以汽油而言，在裝卸作業時，開始灌裝的速度不得超過每秒 3 公尺，灌裝管入口完全浸沒入後，灌裝速度應限於每秒 7 公尺。目前以容量為 19 噸之液化石油氣槽車，內裝有 15 噸之液化石油氣，灌裝作業時間約一小時，其灌速度為 4 m/s。圖 5-1 為一氣槽車將液化石油氣卸入球形儲槽之示意圖，而圖 5-2 為一氣槽車將液化石油氣卸入地下臥式儲槽之示意圖。

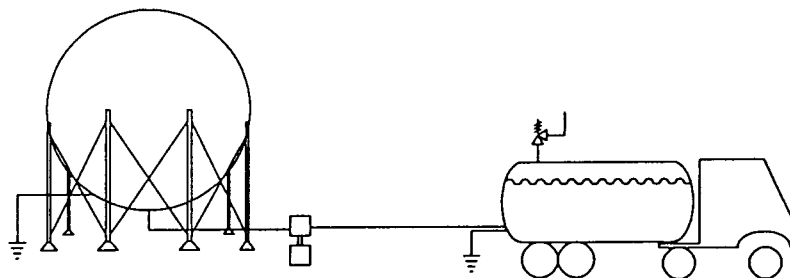


圖 5-1 氣槽車將 LPG 卸入球形儲槽示意圖

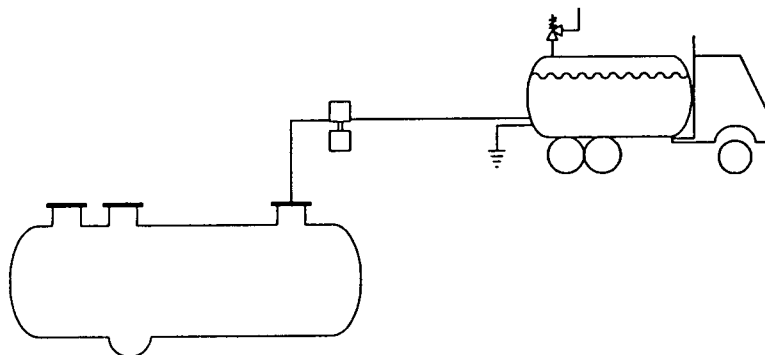


圖 5-2 氣槽車將 LPG 卸入地下臥式儲槽之示意圖

茲將灌裝與卸收作業中靜電產生之相關理論及符號說明於下 [10]：

(1)液體為層流流動時，其靜電漏泄電流(streaming current)為：

$$I_s = \left[\frac{4.24 \times 10^{-12} \text{ amp}}{(ft/s) \text{ volt}} \right] f \text{Re} \bar{u} \epsilon_r \zeta$$

其中：f 為表面摩擦係數(friction factor)，

Re 為雷諾數，

\bar{u} 為液體流速(average velocity)(ft/s)，

ϵ_r 為相對介電常數(relative dielectric constant)，

ζ 為 ζ 電位(zeta potential)(volts)，

I_s 為靜電漏泄電流(streaming current)(amps)。

(2)液體為紊流流動時，其靜電漏泄電流為：

$$I_s = \left[5.89 \times 10^{-14} \frac{\text{amp}}{(ft/s) \text{ volt}} \right] \left(\frac{d \epsilon_r \zeta \bar{u}}{\delta} \right)$$

其中：d 為管徑(inches)，

δ 為電雙層厚度(double-layer)(inches)， $\delta = \sqrt{D_m \tau}$ ，

D_m 為分子擴散係數(molecular diffusivity)(in²/s)，

τ 為靜電荷消散時間(relaxation time)， $\tau = \frac{\epsilon_r \epsilon_o}{\gamma_c}$ ，

ϵ_o 為容電常數(permittivity constant), $8.85 \times 10^{-14} \text{ s/ohm} \cdot \text{cm}$ ，

γ_c 為導電度(specific conductivity)， 10^{-8} mho/cm 。

以下的例子為計算一個管口和接地的槽車之間產生的電壓，如圖 15 所示，同樣的，也計算在管口中儲存的能量，並說明其潛在的危險。

流量為 a. 19,000 kg/hr

b. 26,000 kg/hr

由於液化石油氣之各導電性質無文獻可查，故以下之性質部份為估計值。

管長: 20 ft

管徑: 2 in

液體導電度(conductivity):	$4 \times 10^{-8} \text{ mho/cm}$
液體擴散係數(diffusivity):	$2.2 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sec}$
介電常數(dielectric constant), ϵ_r :	25.7
容電常數(permittivity constant), ϵ_o :	$8.85 \times 10^{-14} \text{ s/ohm} \cdot \text{cm}$
密度:	534.71 kg/m^3
黏度:	$0.622 \times 10^{-2} \text{ kg/m.s}$

a. 液體流速為 19,000 kg/hr。假設因為管子和管口沒有接地，在管口尖端將產生電壓。

電阻長度相當於管長，電阻面積相當於管子截面積，

$$\ell = (20 \text{ ft})(12 \text{ in/ft})(2.54 \text{ cm/in})/100 = 6.1 \text{ m}$$

$$A = \pi r^2 = (3.14)(1 \text{ in})^2 (2.54 \text{ cm/in})^2 / 100^2 = 0.00203 \text{ m}^2$$

電阻， R

$$R = \left(\frac{1}{r_c} \right) \left(\frac{L}{A} \right)$$

$$R = \left(\frac{1}{4 \times 10^{-6}} \text{ ohm} \cdot \text{m} \right) \left(\frac{6.1}{0.00203 \text{ m}^2} \right)$$

$$R = 0.752 \times 10^9 \text{ ohm}$$

靜電漏泄電流為流體流速、雷諾數與摩擦係數之函數：

平均流速， \bar{u}

$$\bar{u} = \left(\frac{19000 \text{ kg/hr}}{534.71 \text{ kg/m}^3} \right) \left(\frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ s}} \right) / 0.00203 \text{ m}^2$$

$$\bar{u} = 4.87 \text{ m/s}$$

雷諾數， Re

$$Re = \frac{\bar{u} \rho}{\mu}$$

$$Re = (0.0508 \text{ in})(4.87 \text{ m/s})(534.71 \text{ kg/m}^3) / 0.0077 \text{ kg/m.s} \\ = 17168.5$$

雙層厚度， $\delta = \sqrt{D_m \tau}$

其中 $D_m = 2.2 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$

$$\epsilon_r = 25.7$$

靜電荷消散時間， $\tau_r = \frac{\epsilon_r \epsilon_o}{\gamma_c}$

$$\tau_r = \frac{(25.7)(8.85 \times 10^{-12} \text{ mho s/m})}{4 \times 10^{-6} \text{ mho/m}}$$

$$\tau_r = 0.569 \times 10^{-4} \text{ s}$$

$$\delta = \sqrt{(2.2 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{s}^{-1})(0.569 \times 10^{-4} \text{ s})}$$

$$\delta = 3.54 \times 10^{-7} \text{ m}$$

靜電漏泄電流， I_s

$$I_s = \left[1.9324 \times 10^{-13} \frac{\text{amp}}{(\text{m/s}) \text{ volt}} \right] \left(\frac{d\varepsilon_r \zeta u}{\delta} \right)$$

$$I_s = 3.47 \times 10^{-7} \text{ amp}$$

電壓， V

$$V = I_s R = (3.47 \times 10^{-7} \text{ amp})(0.752 \times 10^9 \text{ ohm}) = 261.362 \text{ volt}$$

累積的電荷， $Q = I_s t$

$$t = 3600 \text{ s}$$

$$Q = (3.47 \times 10^{-7} \text{ amp})(3600 \text{ s}) = 1.25 \times 10^{-3} \text{ coulomb}$$

靜電累積的能量， J

$$J = \frac{QV}{2} = \frac{(1.25 \times 10^{-3} \text{ coulomb})(261.362 \text{ volt})}{2} \times 1000 = 163.42 \text{ mJ}$$

於以上計算結果得知，其能量(163.42 mJ)雖然超過火花產生之最小著火能量(MIE) (0.25 mJ)，但其電壓(261.362 volt)低於一可燃氣體的電壓(350 volt)，因此不會發生因靜電產生跳火而爆炸的危險。

b. 液體流速為 26,000 kg/hr：

$$\bar{u} = \left(\frac{26000 \text{ kg/hr}}{543.71 \text{ kg/m}^3} \right) \left(\frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ s}} \right) / 0.00203 \text{ m}^2$$

$$\bar{u} = 6.664 \text{ m/s}$$

其電阻與前面所計算結果相同，為 $3.00 \times 10^9 \text{ ohm}$ 。

雷諾數， Re

$$Re = \frac{d \bar{u} \rho}{\mu}$$

$$Re = (0.0508 \text{ in})(6.664 \text{ m/s})(534.71 \text{ kg/m}^3) / 0.0077 \text{ kg/m.s} \\ = 23493.7$$

雙層厚度， $\delta = \sqrt{D_m \tau}$

其中 $D_m = 2.2 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$
 $\varepsilon_r = 25.7$

靜電荷消散時間， $\tau_r = \frac{\varepsilon_r \varepsilon_0}{\gamma_c}$

$$\tau_r = \frac{(25.7)(8.85 \times 10^{-12} \text{ mho s/m})}{4 \times 10^{-6} \text{ mho/m}}$$

$$\tau_r = 0.569 \times 10^{-4} \text{ s}$$

$$\delta = \sqrt{(2.2 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1})(0.569 \times 10^{-4} \text{ s})}$$

$$\delta = 3.54 \times 10^{-7} \text{ m}$$

靜電漏泄電流， I_s

$$I_s = \left[1.9324 \times 10^{-13} \frac{\text{amp}}{(\text{m/s}) \text{ volt}} \right] \left(\frac{d\varepsilon_r \zeta u}{\delta} \right)$$

$$I_s = 4.75 \times 10^{-7} \text{ amp}$$

電壓， V

$$V = I_s R = (4.75 \times 10^{-7} \text{ amp})(0.752 \times 10^9 \text{ ohm}) = 357.653 \text{ volt}$$

累積的電荷， $Q = I_s t$

$$t = 3600 \text{ s}$$

$$Q = (4.75 \times 10^{-7} \text{ amp})(3600 \text{ s}) = 1.71 \times 10^{-3} \text{ coulomb}$$

靜電累積的能量， J

$$J = \frac{QV}{2} = \frac{(1.71 \times 10^{-3} \text{ coulomb})(357.653 \text{ volt})}{2} \times 1000 = 306.02 \text{ mJ}$$

在這種情況下，速度增加而使電壓(357.653 volt)提高且累積的能量(306.02 mJ)超過火花產生的電位(350 volt)與最小著火能量(0.25 mJ)。因此，如果帶電位的管口接近這個接地儲槽，火花可能點燃周圍之逸洩可燃蒸氣，將發生爆炸。

第六章 槽車安全評估與事故之後果分析

6.1 油罐車日曬之數學模式與其槽體破孔洩漏解析

圖 6-1 表示灌裝汽油之雙櫃型臥式橢圓槽車 [11]，圖中顯示槽體部分充填並完全受陽光的熱輻射照射，其中有四個溫度節點需要計算分別為與蒸氣及液體所接觸的槽壁部份，槽內蒸氣及液體四個部份。基於以下四個假設：(1)槽體接受均勻的外界熱能，(2)各節點的溫度分佈均勻，(3)槽體的表面視為灰體，(4)忽略槽體內的防波板的體積，整個系統可以幾個偶合的微分方程式描述之。藉由各節點與流體間之能量守恆公式：(熱能累積率)=(熱能流入率)-(熱能流出率)+(熱能產生率)，吾人可得

$$\rho_w V_1 C_{pw} \frac{dT_1}{d\tau} = h_{1a} A_1 (T_a - T_1) - h_{13} A_1 (T_1 - T_3) - h_{12} A_{12} (T_1 - T_2) + Q_s A_1 \quad (1)$$

$$\rho_w V_2 C_{pw} \frac{dT_2}{d\tau} = h_{2a} A_2 (T_a - T_2) - h_{24} A_2 (T_2 - T_4) - h_{12} A_{12} (T_2 - T_1) + Q_s A_2 \quad (2)$$

$$\rho_g V_g C_{pg} \frac{dT_3}{d\tau} = h_{13} A_1 (T_1 - T_3) - h_{34} A_{34} (T_3 - T_4) \quad (3)$$

$$\rho_l V_l C_{pl} \frac{dT_4}{d\tau} = h_{24} A_2 (T_2 - T_4) - h_{34} A_{34} (T_4 - T_3) \quad (4)$$

式中， ρ_w 、 ρ_g 、 ρ_l 分別是槽壁的密度，蒸氣的密度，以及液體的密度； V_1 、 V_2 、 V_g 及 V_l 分別是受熱蒸氣壁的體積、受熱液體壁的體積、蒸氣體積及液體體積， C_{pw} 、 C_{pg} 及 C_{pl} 分別是槽壁的比熱、受熱蒸氣的比熱、受熱液體的比熱， T_a 、 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 分別是環境溫度、受熱蒸氣壁的溫度、受熱液體壁的溫度、蒸氣的溫度及液體的溫度， h_a 、 h_{12} 、 h_{13} 、 h_{24} 及 h_{34} 分別是環境熱傳係數、氣體槽壁對液體槽壁的熱傳係數、氣體槽壁對氣體的對流熱傳係數、液體槽壁對液體的對流熱傳係數、氣體對液體的熱傳係數， A_1 、 A_2 、 A_{12} 及 A_{34} 分別是受熱蒸氣的熱傳面積、受熱液體的熱傳面積、氣體與液體接觸面之熱傳面積、沸騰熱傳面積， τ 是時間， Q_s 是淨太陽輻射吸收之熱能 (net solar heat

flux)，太陽輻射能為雲層遮蓋度與太陽入射水平角之函數，其值取自 Raphael [12]。

在假想的意外事件中，槽體受撞造成外部的破洞，以下我們將建立數學模式計算橢圓儲槽上任意位置破洞的液體洩漏量、液位變化量及洩漏時間。汽油的閃火點僅是 230 K，因此一旦外洩，極易揮發與空氣混和形成可燃氣，空氣中若有 1.4~7.4%濃度的汽油，則可能會引起爆炸。圖 6-2 表示油罐車的某一槽櫃在其側面有破孔而造成汽油外洩，此櫃內的質量變化可表為：

$$\frac{dM}{d\tau} = -\rho A C_0 \sqrt{2(p_g / \rho + gh_L)} \quad (5)$$

此櫃內的液位高度變化可表為：

$$\frac{dh_L}{d\tau} = -\frac{C_0 A}{A_i} \sqrt{2\left(\frac{p_g}{\rho} + gh_L\right)} \quad (6)$$

其中 C_0 是洩漏係數，通常接近 0.60， p_g 是槽體內的表壓， ρ 為液體的密度， A 為孔洞面積， A_i 為任何液面橢圓槽體之橫截面積。

我們將數學模式中的微分方程式寫成 FORTRAN 程式，並利用適應性的 Runge-Kutta-Fehlberg 演算法 [13] 來解出數值，而在橢圓槽體的積分方面，則是用適應性的 Gauss-Kronrod 演算法 [14] 來解出數值。藉改變模式中的變數我們可以模擬油罐車在太陽曝曬下的熱效應，這些變數包括太陽輻射的強度、橢圓槽體的灌裝度與橢圓槽體的幾何形狀及其體積。圖 6-3 係油罐車從上午 6 點至下午 6 點，連續接受日曬 12 小時，四個槽體區域之溫度變化的模擬結果，圖中顯示出在中午 12 點至 1 點時，與蒸氣接觸之槽壁溫度達到最高，在開始的幾分鐘，因為太陽熱輻射為 0，導致此時槽壁對外輻射熱能，造成溫度先下降一、兩度才開始回升。其它模擬可以依實際需要進行並繪出圖形。圖 6-4 係不同槽體的灌裝度，槽內汽油質量與洩流時間的關係，而圖 6-5 則顯示出不同槽體灌裝度，槽內流體高度與洩流時間的關係。油圖 6-4 與 6-5 即可計算洩漏總量與洩光需要的時間。

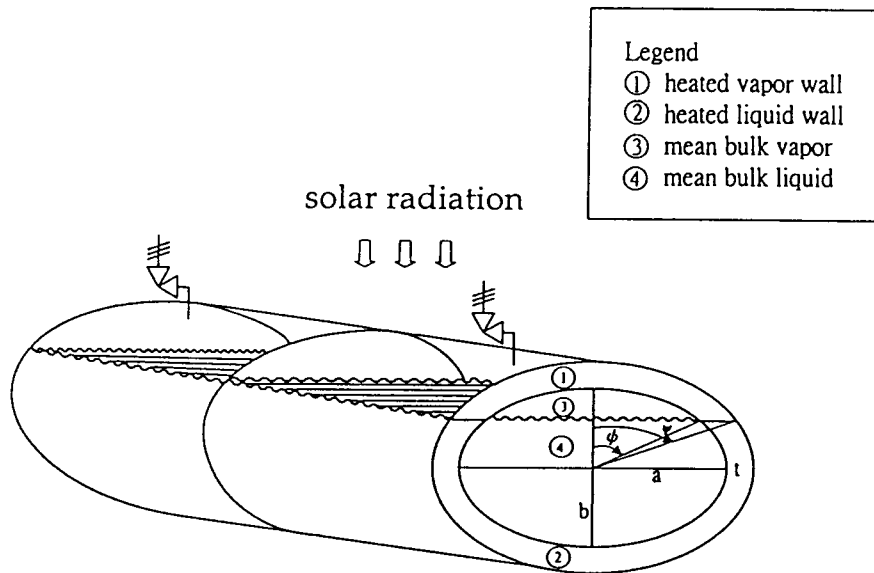


圖 6-1 灌裝汽油之雙櫃型臥式橢圓槽車接受太陽熱輻射

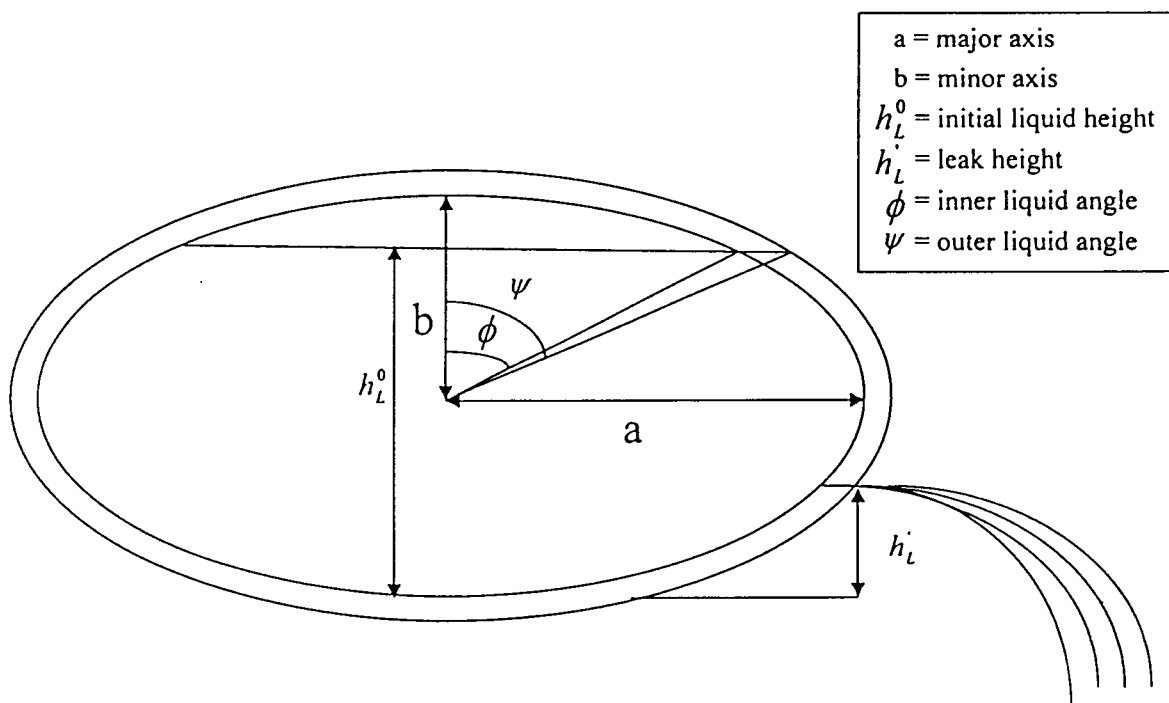


圖 6-2 油罐車的某一槽櫃在其側面有破孔而造成汽油外洩

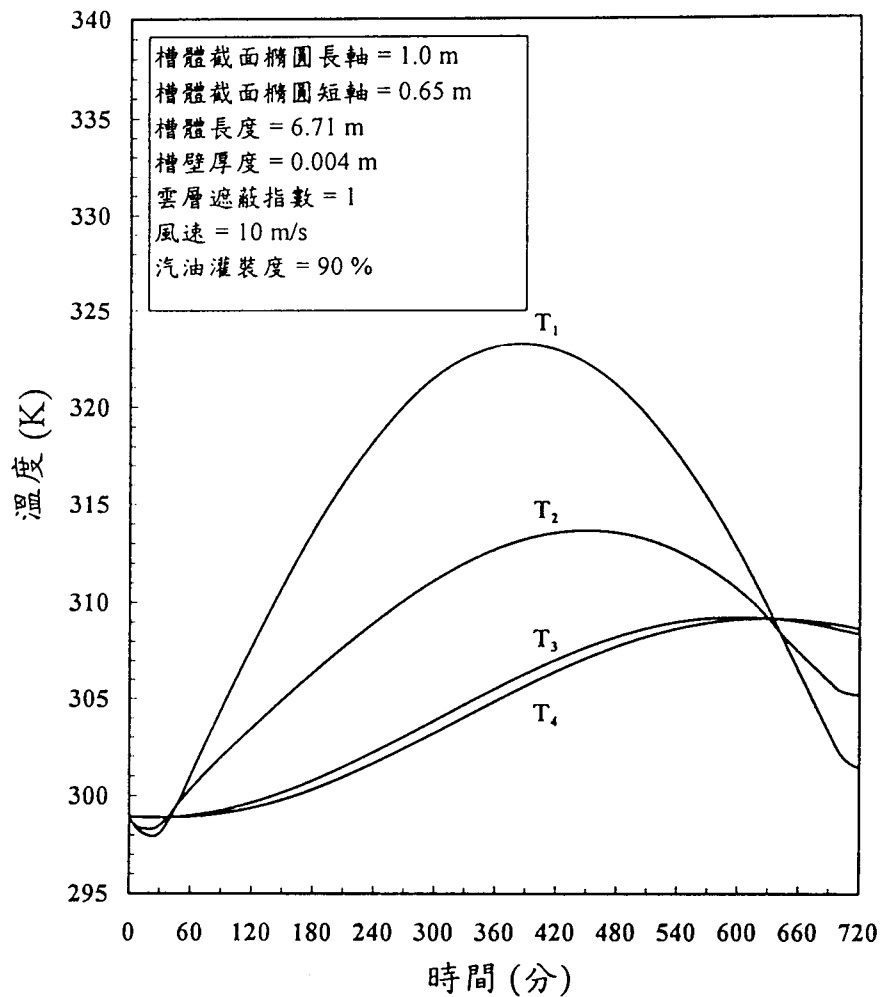


圖 6-3 油罐車在雲層遮蓋指數為 1，風速為 10 m/s 及槽體的灌裝度為 90% 的情況下，四個節點的溫度變化

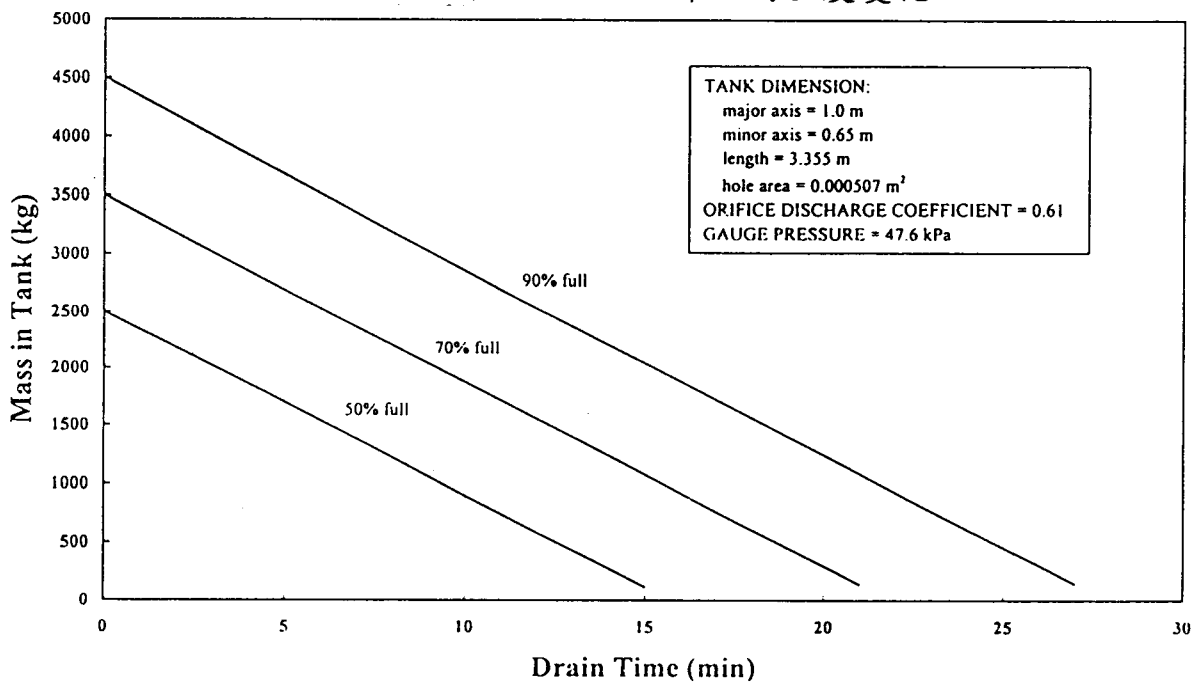


圖 6-4 油罐車不同槽體的灌裝度，槽內汽油質量與洩流時間的關係

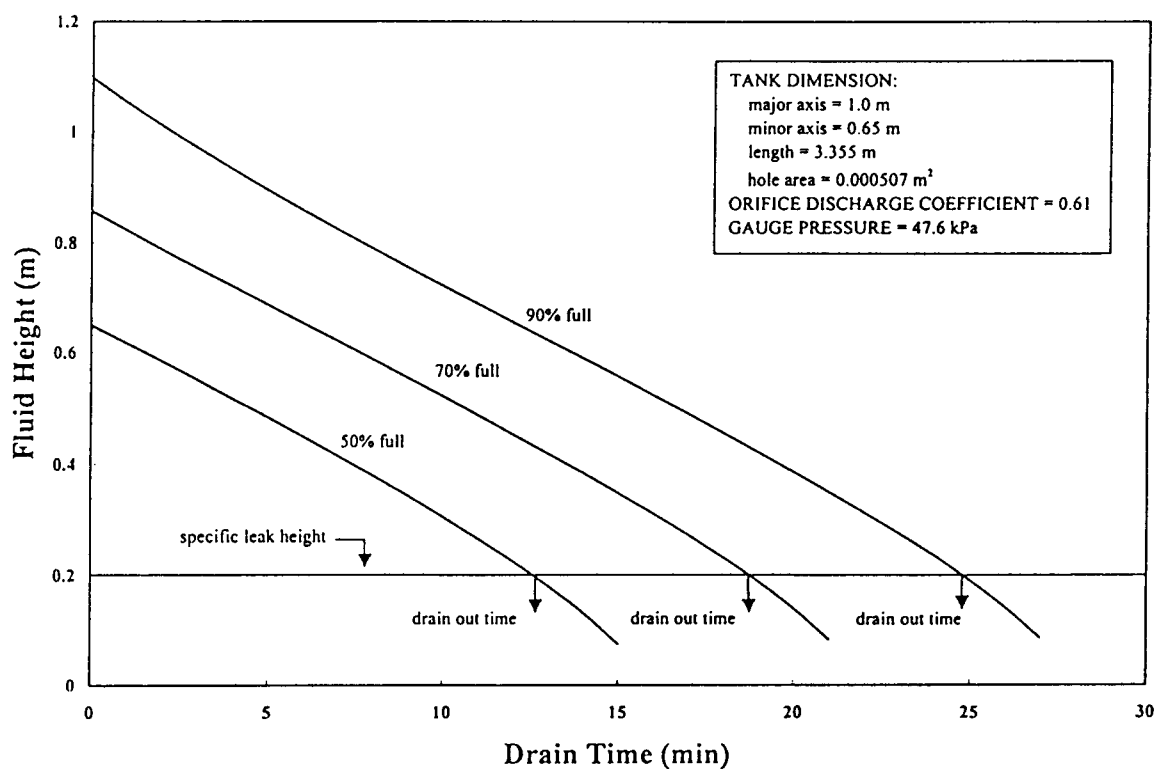


圖 6-5 油罐車不同槽體灌裝度，槽內流體高度與洩流時間的關係

6-2 氣槽車之熱效應模式

液化石油氣為易燃性高壓液體，於灌裝與卸收作業時，若槽車洩漏而發生火災或是操作不當而引發BLEVE，可能因BLEVE產生的熱輻射，波及附近的儲槽、建築物及居民，而造成重大的人員傷亡及財產損失。因此，槽車的保護措施實為工業安全不可忽略的一門課題。

本節為槽車熱效應及太陽熱輻射之數學模式的推導，當槽車受太陽熱輻射或發生火災時，槽車會因熱輻射或直接被火燄吞噬，使得槽內液化石油氣升溫，此模式即模擬其升溫過程。

參考有關液化石油氣儲槽之熱效應模式[15][16]，氣槽車受熱之模式中，有四個溫度節點需要計算，分別為槽壁與蒸氣及與液體接觸部份，槽內蒸氣及液體四個部份 [17] (圖 6-6)。

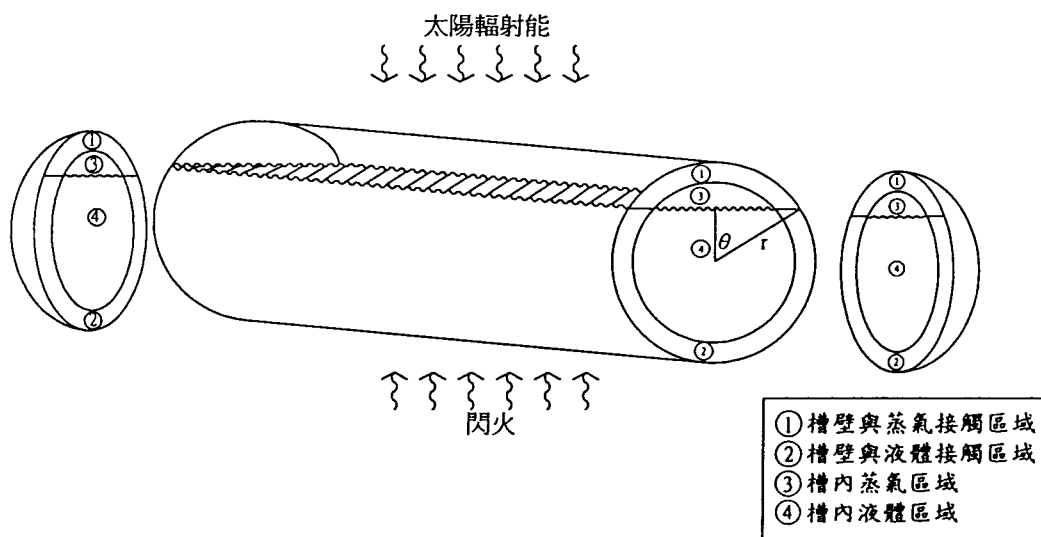


圖 6-6 槽體四個溫度節點分佈

基於以下的假設：

- (1) 槽壁接收之熱能是均勻的。
- (2) 槽體依圖6-6分為四個區域，每一區域之溫度分佈均勻。
- (3) 槽體內防波板之體積可忽略。

本研究針對(1)氣槽車火災與(2)氣槽車僅受太陽曝曬提出數學模式，並以FORTRAN程式計算槽體受熱後各節點之溫度分佈。

我們可依能量守恆公式，對槽體各節點與流體之間做熱平衡（圖6-7），因此得到四個聯立常微分方程式（Eqs. 7~10）。

(熱能累積率)=(熱能流入率)-(熱能流出率)+(熱能產生率)

$$\rho_w V_1 C_{pw} \frac{dT_1}{d\tau} = h_{1a} A_1 (T_a - T_1) - h_{13} A_1 (T_1 - T_3) - h_{12} A_{12} (T_1 - T_2) + Q_s A_1 + Q_E A_1 \quad (7)$$

$$\rho_w V_2 C_{pw} \frac{dT_2}{d\tau} = h_{2a} A_2 (T_a - T_2) - h_{24} A_2 (T_2 - T_4) - h_{12} A_{12} (T_2 - T_1) + Q_s A_2 + Q_E A_2 \quad (8)$$

$$\rho_g V_g C_{pg} \frac{dT_3}{d\tau} = h_{13} A_1 (T_1 - T_3) - h_{34} A_{34} (T_3 - T_4) \quad (9)$$

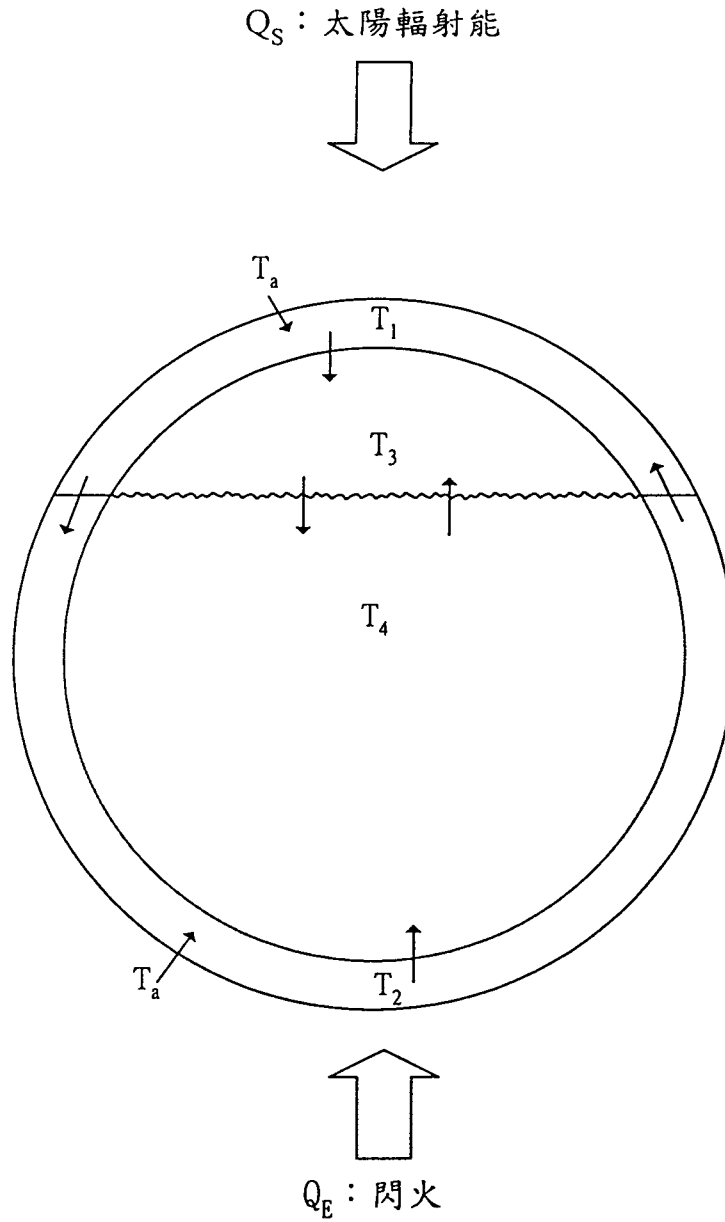


圖 6-7 槽體各節點之熱傳示意圖

$$\rho_l V_l C_{pl} \frac{dT_4}{d\tau} = h_{24} A_2 (T_2 - T_4) - h_{34} A_{34} (T_4 - T_3) \quad (10)$$

式中 T 表示溫度， τ 為時間， ρ 為密度， A 、 V 分別為面積及體積， C_p 是熱容值， h 為熱傳係數，其下標 l 、 g 分別表示液態及氣態液化石油氣，(1~4) 為四個節點之區域。

式7至8中之 Q_E 為閃火發生時，外界輸入的熱源； Q_s 則是太陽所產生的熱輻射，太陽熱輻射 Q_s 可利用Raphael所推導出的式子 [12]：

$$Q_s = 1.111(1 - 0.0071C_i^2)(\sin \phi_s - 0.1) \quad (11)$$

其中太陽能常數是 1.111 kW/m^2 ， C_i 是一個無因次係數，它代表天候，雲量多寡的指標（0表示完全沒有雲的遮蔽，10表示完全為雲遮蔽）， ϕ_s 則表示太陽光線的入射角，以水平入射為0度基準，此式應用必須符合 $\sin \phi_s$ 值大於 0.1，若是小於0.1時，太陽熱輻射可以假設其值為0。微分方程式中各熱傳係數分別由以下的經驗公式計算：發生閃火時，槽壁與槽外空氣接觸的熱傳係數 h_{1ah} 、 h_{2ah} 可依據自然對流公式求得 [18]：

$$Nu = c Re^m Pr_L^n \quad (12)$$

上式中 Nu 為Nusselt數， Re 為Reynolds數， Pr_L 為Prandtl數，且 $c=0.26$ ， $m=0.6$ ， $n=0.36$ 。

無閃火狀況，僅受烈日曬時 [19]，槽壁與槽外空氣接觸的熱傳係數：

$$h = 1.24(T_w - T_a)^{1/3} \quad (13)$$

而推得

$$h_{1a} = 1.24(T_1 - T_a)^{1/3}$$

$$h_{2a} = 1.24(T_2 - T_a)^{1/3}$$

槽內流體與槽壁的熱傳係數 h_{13} 與 h_{24} 可採用下式經驗式 [19]：

$$Nu = \frac{hH}{k} = C(Ra)^n \quad (14)$$

其中， $Ra = Gr Pr = \frac{g\beta\Delta TD^3}{\alpha\nu}$ ， $Gr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)D^3}{\nu^2}$ ，Nu為Nusselt數，Ra為Rayleigh數，Gr為Grashof數，D為儲槽之直徑， α 為熱擴散係數， β 為體膨脹係數， ν 為動黏度，C、n 為常數，隨幾何形狀的不同各有不同的數值我們採用C=0.1，n=1/3。

各區槽壁間之熱傳係數如圖6-8。

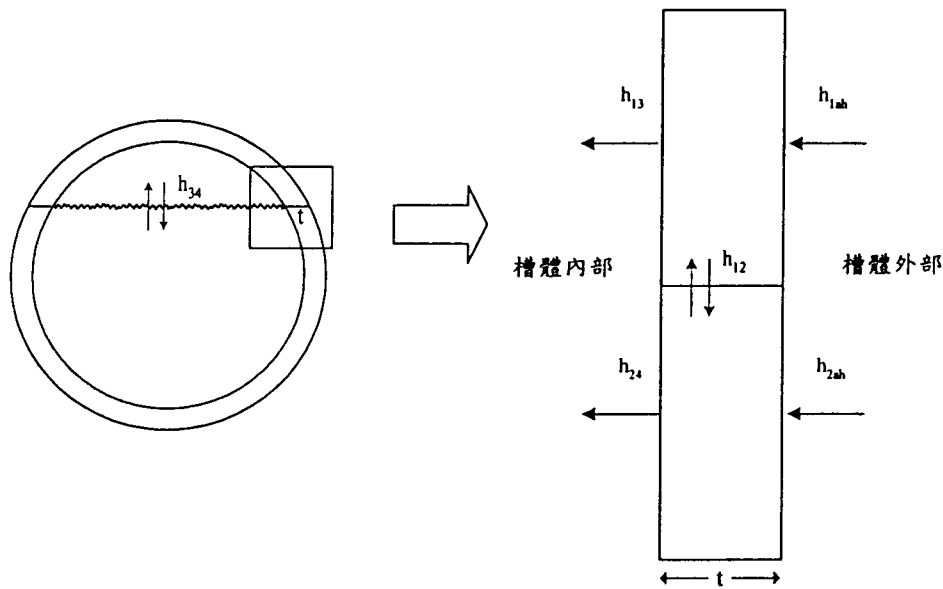


圖6-8 槽壁有效熱傳係數之計算

槽壁有效熱傳係數 h_{12} ，依熱傳導理論，可導出下式 [15]：

$$h = \frac{k_w}{\Delta x}$$

$$\Delta x = (k_w t)^{1/2} \left(\frac{1}{(h_{13} + h_{1a})^{1/2}} + \frac{1}{(h_{24} + h_{2a})^{1/2}} \right) \quad (15)$$

式中，t槽壁之厚度， k_w 槽壁之熱傳導係數。

最後，沸騰熱傳係數 h_{34} 可用 [20]：

$$Nu = \frac{Ja^2}{C_{nb}^3 Pr_L^m} \quad (16)$$

式中 $Ja = \frac{C_{pl}(T_w - T_{sat})}{h_{fg}}$ ，Ja 為 Jakob 數。

圖 6-9 表示液化石油氣槽車之槽體，圖中顯示槽體部分充填並完全為外在熱源包圍，箭頭代表閃火 (flash fire)，這相當於最糟的狀況。其中有四個溫度節點需要計算，分別為槽壁與蒸氣及與液體接觸部份，槽內蒸氣及液體四個部份。

胴體部分：

$$A_1 = 2r\theta L \quad (17)$$

$$A_2 = 2\pi r L - 2r\theta L \quad (18)$$

$$A_{34} = \pi(r-t)^2 \sin\theta(1-\cos\theta)/2 \quad (19)$$

$$A_{12} = (\pi r^2 \sin\theta(1-\cos\theta)/2) - A_{34} \quad (20)$$

$$\text{兩端板部分：} A_1 + A_2 = 2\pi r^2 E(c) \quad (21)$$

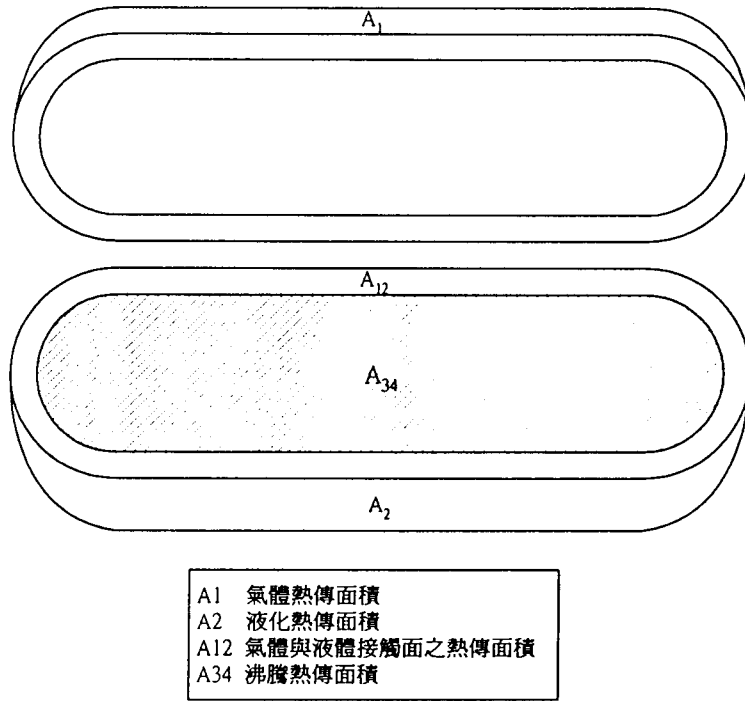


圖 6-9 氣槽車熱傳面積示意圖

上式中， $E(c)$ 為第二類完全橢圓積分(complete elliptic integral of the second kind)，且

$$E(c) = \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - c^2 \sin^2 \theta} d\theta, \quad c = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$

$$A_2 = 2E(c) \left[(H - r)\sqrt{2rH - H^2} + r^2 \sin^{-1} \left(\frac{H - r}{r} \right) + \frac{\pi r^2}{2} \right] \quad (22)$$

$$A_1 = 2\pi r^2 E(c) - A_2 \quad (23)$$

$$A_{12} = \frac{\pi}{2} (2Hr - H^2) - \frac{\pi}{2} (2H(r - t) - H^2) \quad (24)$$

$$A_{34} = \frac{\pi}{2} (2H(r - t) - H^2) \quad (25)$$

槽體內液體體積如下：

總體積 = 胴體體積 + 兩端板體積

胴體體積 V_c ：

$$V_c = \left[\pi(r-t)^2 - (t-t)^2 \cos^{-1} \left(\frac{H-(r-t)}{r-t} \right) \right] L + L(H-(r-t))\sqrt{H(2(r-t)-H)} \quad (26)$$

兩端板體積 V_e :

$$V_e = \frac{\pi(r-t)H^2}{2} - \frac{\pi H^3}{6} \quad (27)$$

其中，祇要 $(V_c + V_e) = V_t$ 為已知， θ 則可算出。

LPG 的成份採 50 vol% 丙與 50 vol% 丁烷的混合物，並藉程序模擬軟體 CHEMCAD III 計算出 LPG 混合物的熱物性質，此模式允許熱物性質隨溫度變化而改變。值得一提的是，熱物性質在不同溫度的數值，採用立方雲規內插法 (cubic interpolatory spline) 求得。

利用適應性的 Runge-Kutta-Fehlberg 演算法，我們將式 7~27 寫成 FORTRAN 程式。藉改變 BLEVE 的變數以模擬其現象，這些變數包括外在的熱源、槽體的灌裝程度等。圖 6-10 為火燄完全包圍的槽體四個節點溫度分佈，LPG 槽體的安全界限定為 550°C，超過這個溫度會導致槽體因金屬張力而破裂。圖 6-11 與圖 6-12 表示節點 1 與節點 4 在不同灌裝度之溫度變化，於節點 1 中，在固定的時間時，灌裝度愈高者升溫愈快，這是因為灌裝度愈高者其槽壁與蒸氣接觸面積愈小，因此溫度上升較快，而節點 4 則反之。圖 6-13 表示節點 1 在不同熱輻射量下之溫度變化，很明顯的外在熱源愈高，槽體愈快破裂。圖 6-14 為只有太陽曝曬時槽體四個節點之溫度變化。圖 6-15 與圖 6-16 為氣槽車在只有太陽曝曬時不同填充度節點 1 與節點 4 之溫度變化，由圖中可知太陽曝曬下灌裝度愈高，節點 4 升溫愈慢，但節點 1 溫升較快。圖 6-17 為氣槽車在只有太陽曝曬時不同填充度之蒸氣壓。根據 API (1989) [21]，當儲槽火災發生時，外在火燄的高度超過槽內液位是非常危險的。直接暴露於火燄大約經過 10-30 分鐘後，儲槽就會爆裂，而爆裂的確實時間與熱源的強度、暴露於火燄中的槽壁面之厚度有關，這與我們所提之熱效應數學模式的結果是一致的。

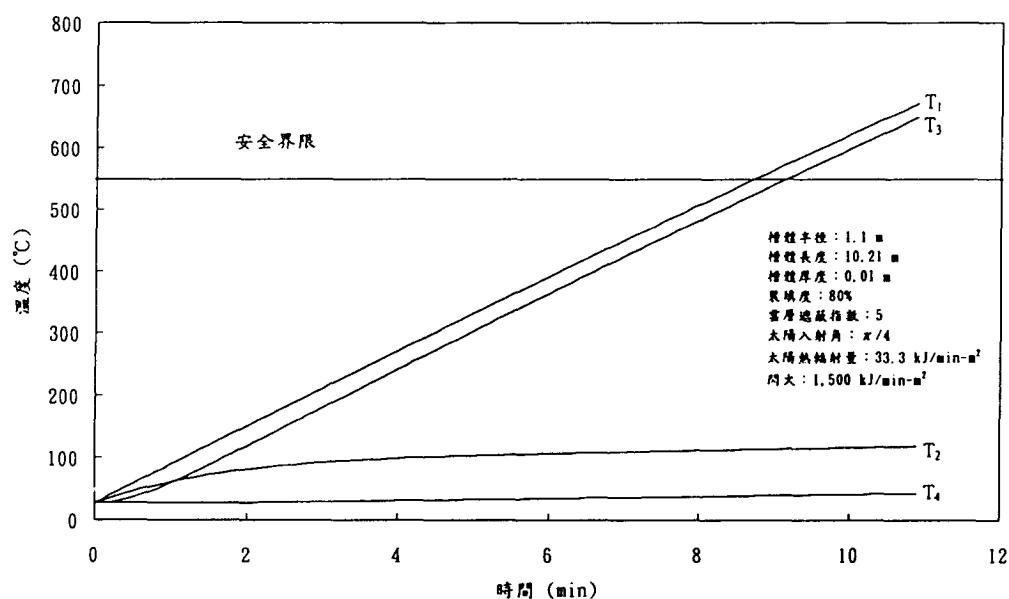


圖 6-10 氣槽車在外在熱源固定時各節點之溫度變化。LPG 槽體的安全界限定為 550°C，超過這個溫度會導致槽體因金屬張力而破裂。

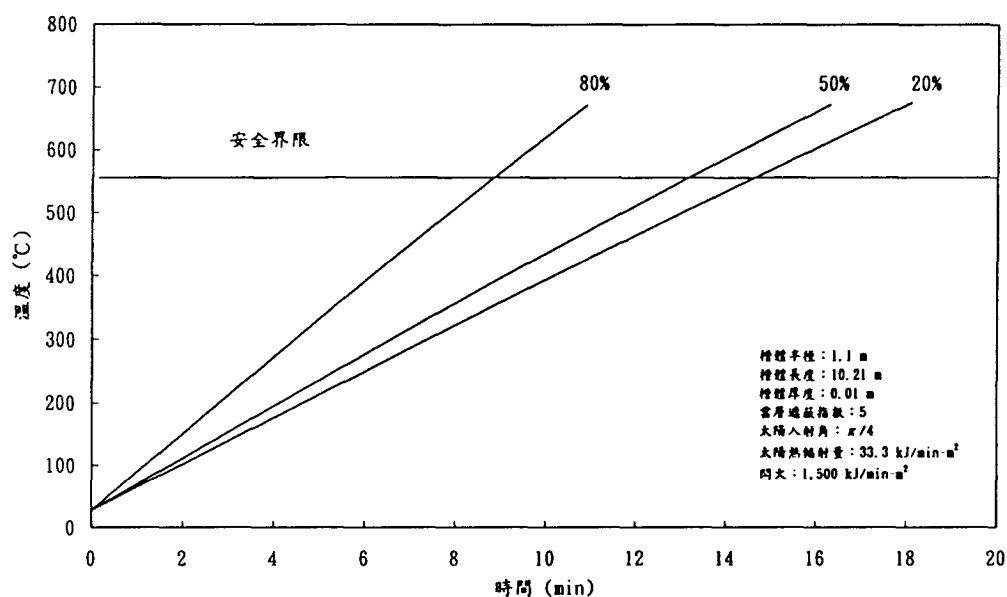


圖 6-11 氣槽車在不同填充度時節點 1 之溫度變化。在固定的時間時，灌裝度愈高者升溫愈快。

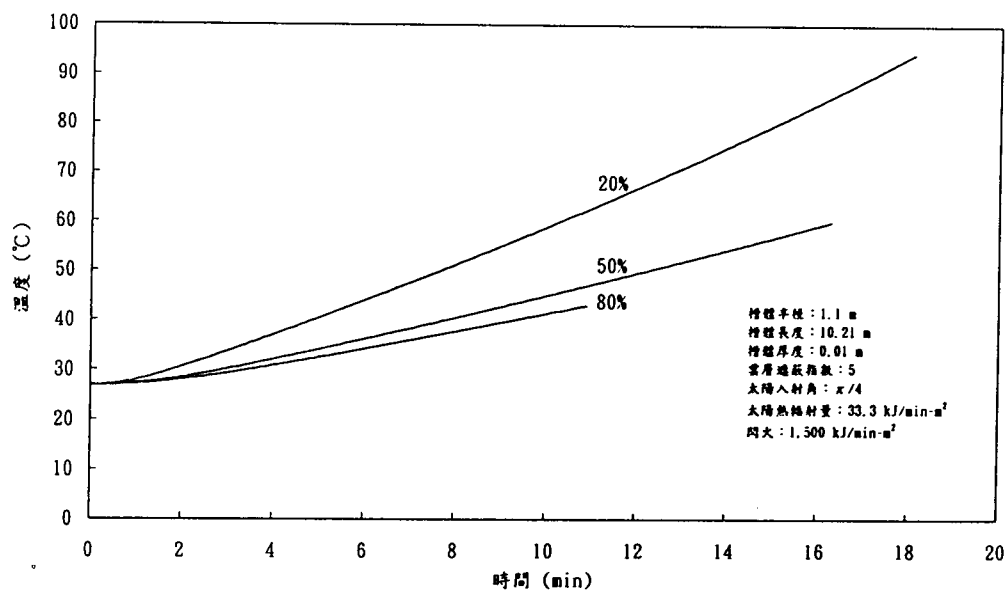


圖 6-12 氣槽車在不同填充度時節點 4 之溫度變化。在固定的時間時，灌裝度愈高者升溫愈慢。

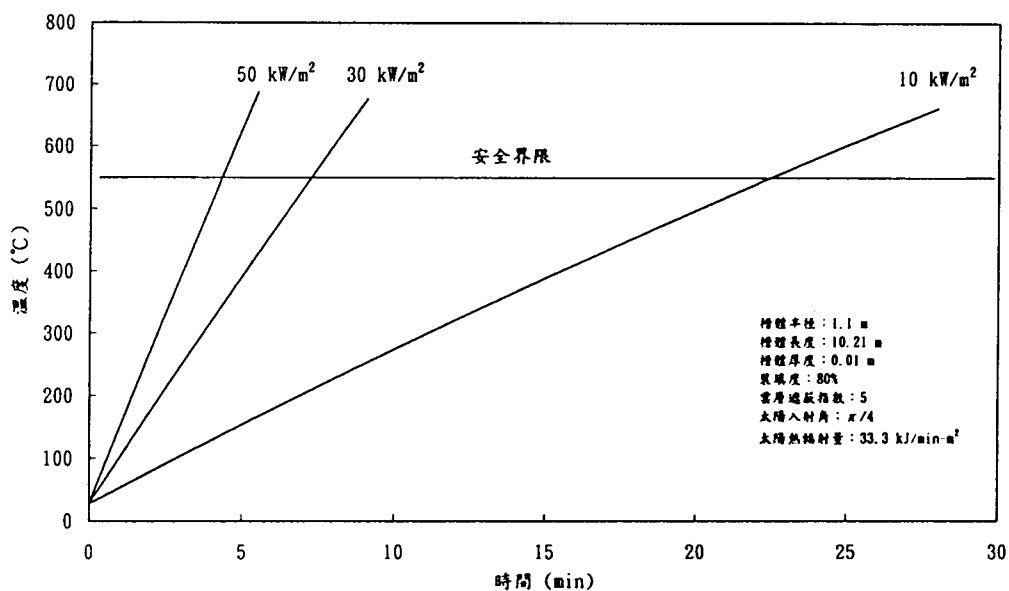


圖 6-13 氣槽車在不同外熱源時節點 1 之溫度變化。由圖可知外在熱源愈高，槽體愈快破裂。

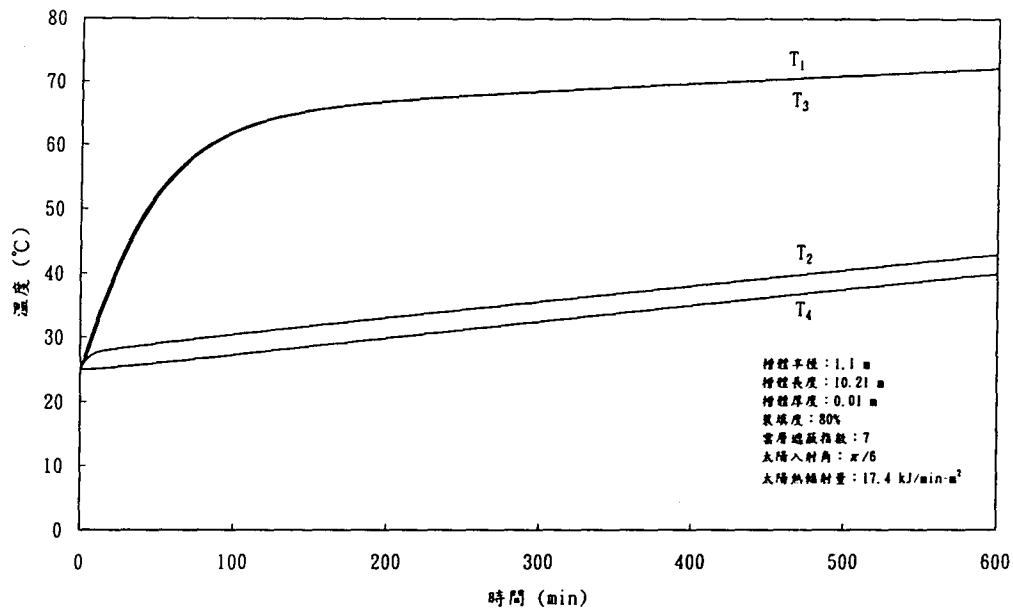


圖 6-14 氣槽車在只有太陽曝曬時各節點之溫度變化。

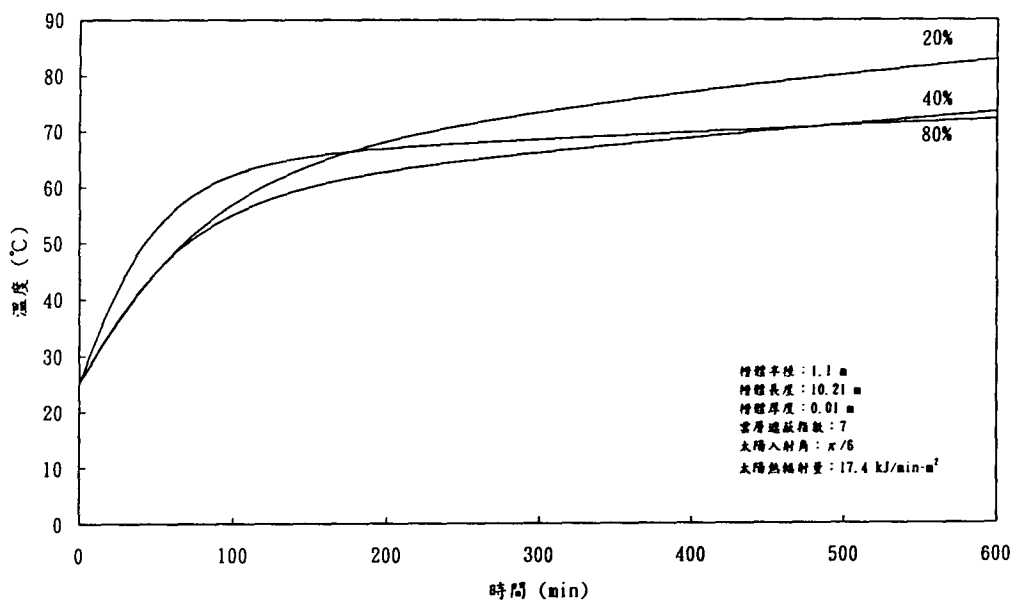


圖 6-15 氣槽車在只有太陽曝曬時不同填充度節點 1 之溫度變化。由圖中可知太陽曝曬下灌裝度愈高，節點 1 溫升較快。

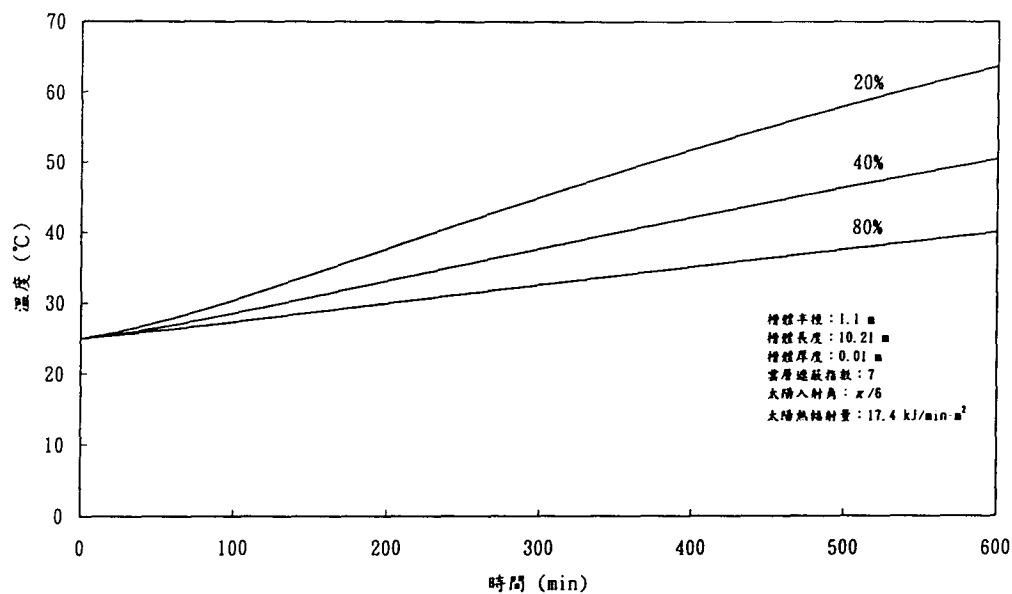


圖 6-16 氣槽車在只有太陽曝曬時不同填充度節點 4 之溫度變化。由圖中可知太陽曝曬下灌裝度愈高，節點 4 升溫愈慢。

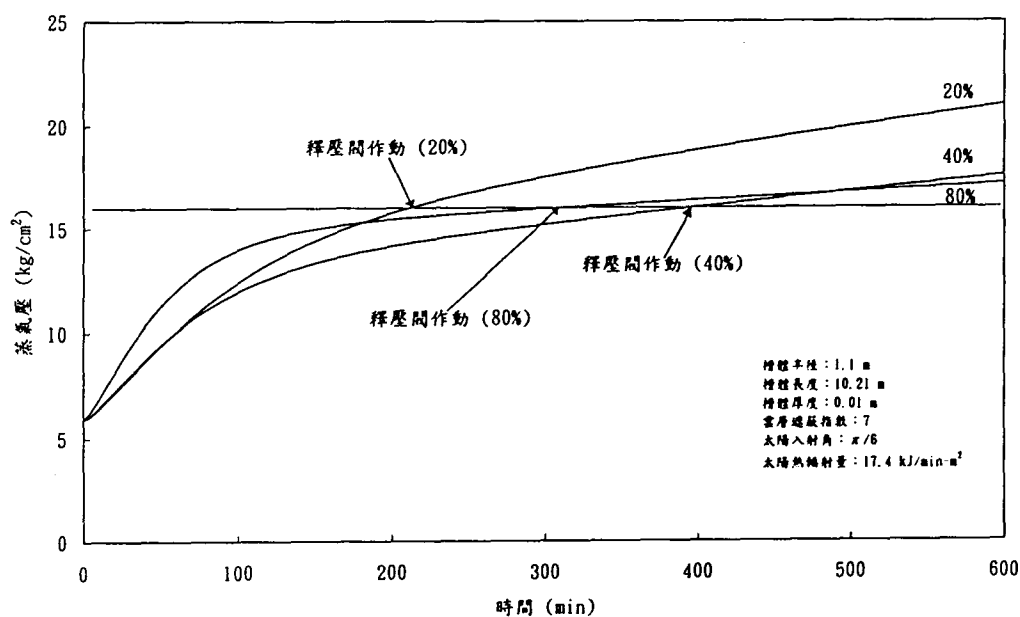


圖 6-17 氣槽車在只有太陽曝曬時不同填充度之蒸氣壓。

6.3 熱輻射後果分析

由熱輻射所造成皮膚的傷害一般可分為：一級、二級、三級灼傷，這取決於對皮膚的損害程度而定，皮膚的構造可分為三層：表皮、真皮與皮下組織，第一級灼傷傷及皮膚表面的特徵為紅腫、乾燥與疼痛；第二級灼傷傷及表皮(厚度 0.07~0.12 mm)，其灼傷特徵為皮膚組織形成水泡狀態，亦會紅腫；第三級的灼傷延伸至真皮(厚度 1~2 mm)是毛髮髮根與神經末梢等存在的區域，灼傷的皮膚會失去知覺、乾燥與呈現白色、黃色和黑色。二級與三級灼傷會導致殘疾，亦會有傷亡的機率產生，依皮膚灼傷的面對個人年紀大小而不同，來自於火災的熱輻射量，能量的吸收幾乎百分之百，視溫昇大小與熱滲透的深淺，多多少少會造成皮膚的灼燒。火災所形成之熱輻射量熱傳進入皮膚的數學模式可視為一維熱傳問題 [22]，熱輻射所造成之傷害統計模式常依據熱輻射強度與暴露時間而定，值得一提的是 BLEVE 所造成的熱輻射通量可高達 200-350 kW/m² 且火球可持續 10-20 秒鐘。茲以圖 6-18 來評估氣槽車 BLEVE 之危險半徑。Eisenberg 等 [23] 提出機率單位方程式 (probit equation) 用池火與明火的熱劑量來估計對人體所造成傷害的程度。

$$Y = -14.9 + 2.56 \ln(tQ_R^4)^{1/3} \quad (28)$$

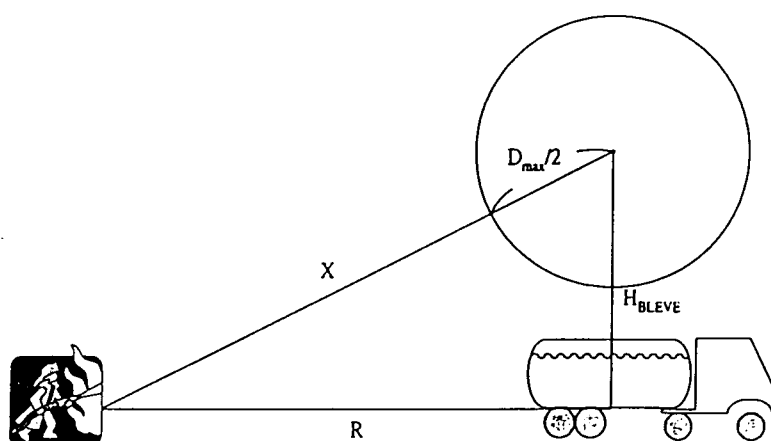


圖 6-18 評估氣槽車 BLEVE 之危險半徑圖

式中 probit 變量 Y 與致死機率 Pr 有關，可由下式表之：

$$Pr(\%) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Y-5} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du \quad (29)$$

雖然上式之積分可在書上查出 [24]，但對特定 Y 值仍不方便計算 Pr 。

為計算方便，我們將式 29 改寫成誤差函數(error function)即 [25]：

$$Pr = \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf}\left(\frac{Y-5}{\sqrt{2}}\right) \right] \quad (30)$$

通常誤差函數的數值可由電腦計算得知，所以式 30 中只要輸入任意 Y 值即可算出致死機率 Pr ；反之， Pr 已知亦可求出 Y 值。

有許多公式可計算 BLEVE 的物性參數，其中較有用的公式是 [26]：

$$\text{最大火球直徑(m)} : D_{\max} = 6.48W^{0.325} \quad (31)$$

$$\text{火球持續時間(s)} : T_{\text{bleve}} = 0.825W^{0.26} \quad (32)$$

$$\text{火球的中心高度(m)} : H_{\text{bleve}} = 0.75D_{\max} \quad (33)$$

$$\text{起始地平面火球半圓的直徑(m)} : D_{\text{initial}} = 0.3D_{\max} \quad (34)$$

BLEVE 發生時，物體接受到熱輻射的量如下：

$$Q_R = \tau_a E F_{21} \quad (35)$$

式中

Q_R : 黑體目標接受的熱輻射量(kW/m^2)

τ_a : 穿透率(無因次)

E : 表面放射熱量(kW/m^2)

F : 觀察因子(無因次)

注意到大氣穿透率 τ_a ，可用一個包含溼度的相關式計算 [27]：

$$\tau_a = 2.02(P_w x)^{-0.09} \quad (36)$$

式中

τ_a :大氣壓下的穿透率

P_w :水汽的分壓(Pa)

x :路徑長度，從火球表面至目標物的距離(m)：

上式之適用範圍為 P_w 與 x 皆不得為零；例如，在 20°C 時，水之蒸氣壓為 2238 Pa(17.5 mmHg)，在 70% 的相對濕度下，水汽分壓為 $P_w = 1636$ Pa，若 x 之距離為 150 m，則 $\tau_a = 0.66$ 。

式 35 中，表面放射量 E 取代了需要火球溫度的 Stefan-Boltzmann 方程式，Roberts [28] 與 Hymes [29] 則提供了一個譜算表面放射熱量的公式：

$$E = \frac{F_{rad}WH_c}{\pi D_{max}^2 t_{BLEVE}} \quad (37)$$

針對 BLEVE 對人的傷害，火球之幾何觀察因子可表為：

$$F_{21} = \frac{D_{max}^2}{4R^2} \quad (38)$$

最後，我們可以計算出火球表面與接受者之間的路徑距離 x ，可表示成：

$$x = \sqrt{H_{BLEVE}^2 + R^2} - 0.5D_{max} \quad (39)$$

茲以流程圖 (圖 6-13) 說明危險範圍的計算過程。首先輸入燃燒液體的質量(w)、燃燒熱(H_c)、輻射分率(F_{rad})、水汽分壓(P_w)與致死機率(P_r)，其次計算 D_{max} 、 t_{BLEVE} 、 H_{BLEVE} 及式 30 中之 Y 值，將式 36、37、38、39 代入式 35，可得危險半徑 R 的代數式，此為非線性方程式的根，需滿足 Q_E 除以 τEF_{21} 等於 1 (另註： Q_E 可由式 28 求得，因為 Y 值與 t_e 現為已知，且 t_e 等於 t_{BLEVE})。依以上之計算式，可用電腦程式解

出危險半徑，危險半徑即為此半徑所包圍的一個圓形範圍。此危險區域將可提供消防人員救火的參考。

圖 6-14 用式 28 與式 30 顯示出致死機率對熱輻射強度與暴露時間的關係。LPG 不同洩露量對危險半徑與致死機率的影響如圖 6-15 所示，此圖說明了以 45 公秉槽車灌裝量多寡 (10%~90%總容積)，其危險半徑分別是 40 m~180 m。不同洩露量對熱輻射接收量與致死機率的影響如圖 6-16 所示，從這兩個圖形，可看出危險半徑愈大，致死機率愈小，而熱輻射愈強致死機率愈大。

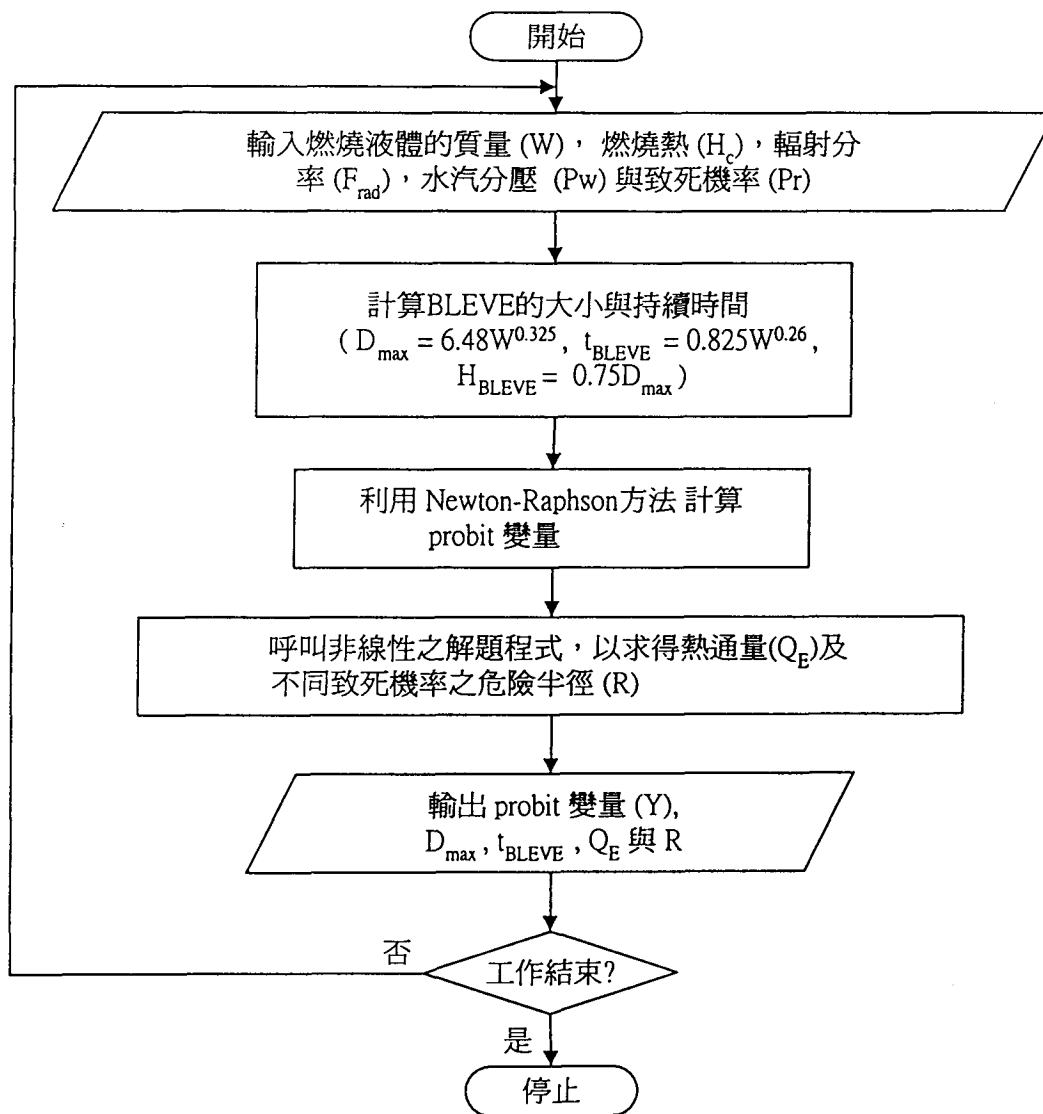


圖 6-13 評估 BLEVE 危險半徑之流程圖

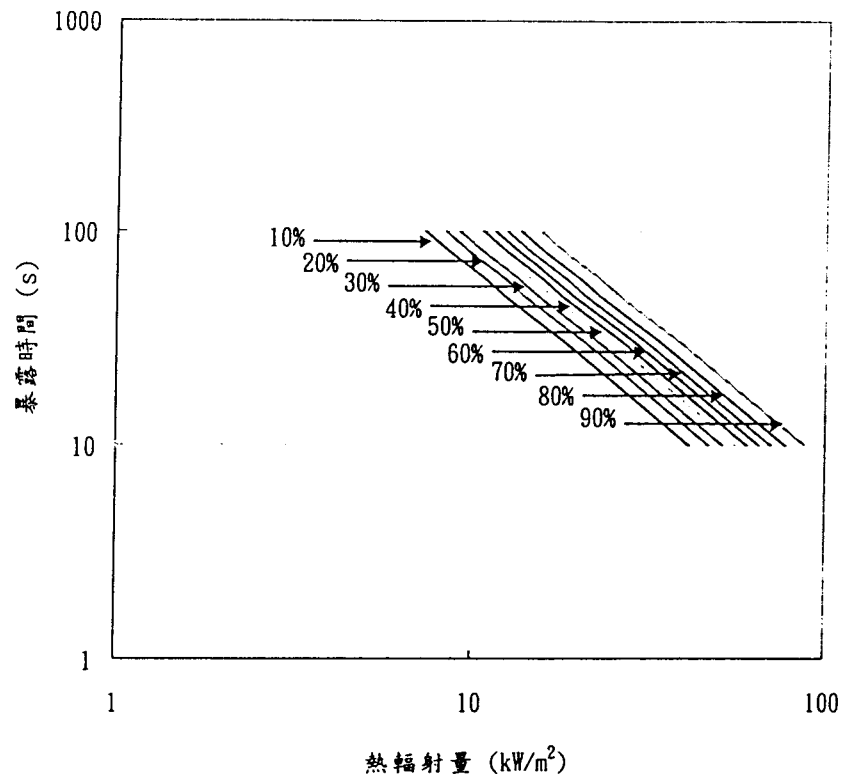


圖 6-14 熱輻射量與致死機率之關係圖

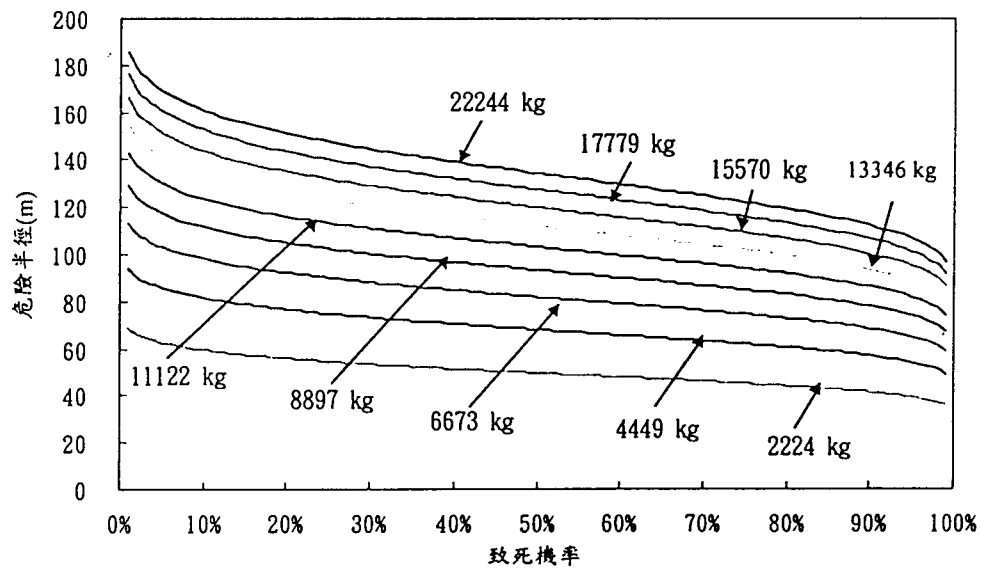


圖 6-15 LPG 不同洩露量對危險半徑與致死機率的影響

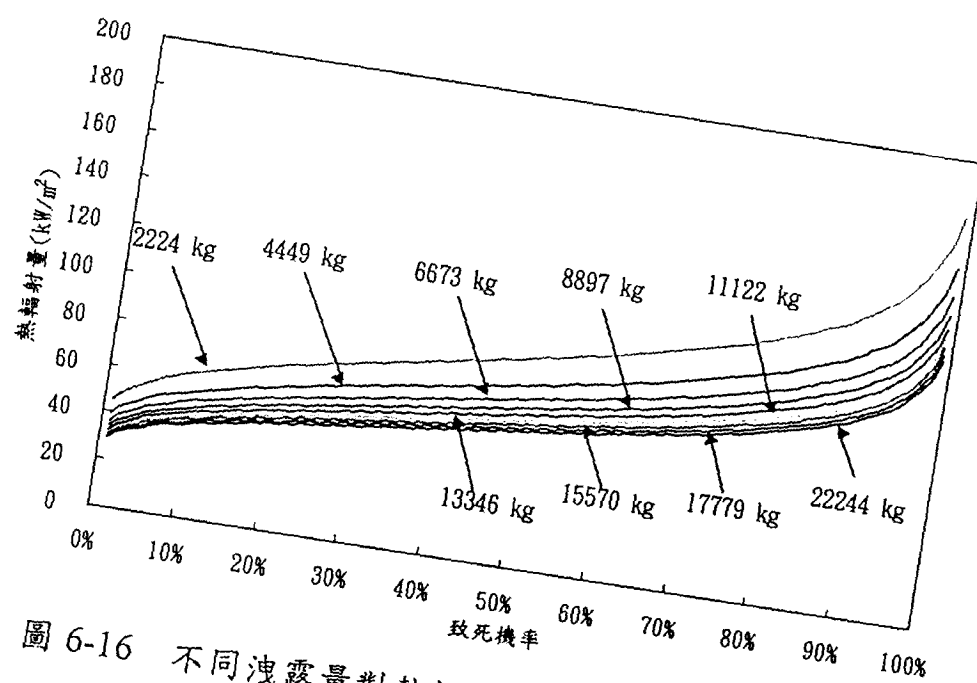


圖 6-16 不同洩露量對熱輻射接收量與致死機率的影響

第七章 槽車在灌裝與卸收作業之安全作業標準

7-1 油罐車灌裝標準作業程序 (SOP)

一、灌裝前置作業

1. 確認「油罐汽車裝油通知單」或「提油登記單」。
2. 油罐車司機將油罐車駛至灌裝島。
3. 將油罐車關閉引擎、入擋、拉上手煞車。
4. 置放前後輪輪擋。
5. 油罐車接地。
6. 接油氣回收臂(只限灌裝95及92無鉛汽油的油罐車)。
7. 接灌裝快速接頭，打開 VALVE 並開啟油罐車上緊急閥。

二、槽車灌裝程序

1. 油罐車司機將流量計予以歸零後刷磁卡。
2. 准許灌油指示燈亮則可按灌油按鈕開始灌油。
3. 司機駐守現場監控，留意有無漏油情形發生。
4. 若發現漏油或其他不正常現象，應立即按暫停按鈕停止灌油，並通知灌裝場工作人員檢查原因，待克服問題後繼續灌油。

三、灌裝結束後之程序

1. 灌裝完畢後，關閉緊急閥，關 VALVE 拆快速接頭並放於定位。
2. 拆油氣回收臂並放回定位。
3. 拆除接地並放置定位。
4. 前後輪輪擋移除並排放整齊。
5. 油罐車開離灌島。
6. 最後進行鉛封作業。油罐車必需進入指定鉛封區方予以鉛封，若油罐車司機欲暫停休息，可以暫緩進入灌島灌油或灌完油後將車輛停放於暫停區內，但禁止佔據鉛封區車輛行進動線。
7. 油罐車於進入指定鉛封區後，應熄火入檔並拉手煞車，並下車

領取自動裝油記錄單，俟鉛封人員鉛封及車輛檢查工作完成後，再行起動車輛離開。

8. 油罐車於指定鉛封區時應配合鉛封人員之引導，並於鉛封後應立即將車輛駛出不得佔據鉛封區。
9. 鉛封人員平時應留駐於鉛封崗亭待命，並隨時機動調整人力，以提高指定鉛封區內油罐車週轉率，維持鉛封區車輛行進動線之順暢。

7-2 液化石油氣灌裝場灌裝標準作業程序(SOP)

以下為液化石油氣灌裝場灌裝作業標準摘要：

一、灌裝前置作業

1. 泵進口管線阻閥全部打開（槽底閥、總阻閥、電磁閥及泵之入口閥），並檢查是否洩漏。
2. 氣相平衡管“槽頂阻閥”及泵迴流管線“槽底阻閥”打開，並檢查是否洩漏。
3. 槽車引導至定位，且槽車後輪不得壓到檔輪堤。
4. 手煞車拉起。
5. 槽車引擎熄火，並取出鑰匙。
6. 於前後輪放置止滑塊，離輪胎 3 cm。

二、槽車灌裝程序

1. 打開槽車灌裝口保護箱箱蓋。
2. 確實夾緊接地線。
3. 打開槽車安全閥（液、氣相）。
4. 槽車“灌裝口阻閥”、“排氣閥”打開排氣（液、氣相），排放至無壓力為止，排放完畢，關閉阻閥。
5. 槽車灌裝口阻閥管帽（護蓋）取下。
6. 灌裝用高壓軟管（液、氣相）安裝妥當，同時檢查廢氣排放閥是

否已關閉，高壓軟管裝妥後需再往後拉緊。

- 7.槽車 "安全閥" 及灌裝口 "阻閥" 緩慢打開 (液、氣相)。
- 8.灌裝用高壓軟管 "出口阻閥" 緩慢打開 (液、氣相)，先打開氣相後開液相，並檢查排氣閥。
- 9.設定灌裝量。
- 10.緩慢打開出第二阻閥 (液、氣相) 及液相管線之電磁閥並檢查液相管線第三阻閥是否已打開，先開氣相，再開液相。
- 11.打開泵出口閥並檢查泵入口及迴流閥是否已打開，迴流總阻閥開度約 45°。
- 12.啟動輸送泵並記錄輸送泵之電流及出口壓力，注意泵出口壓力約 $11 \pm 4 \text{ kg/cm}^2$ ，電流量為 25~30 Amps。
- 13.隨時注意輸送振動及電流是否太大，若太大則以迴流調整之，電流不可超 30 Amps。
- 14.灌裝中，需加強巡視監視槽車不可擅離工作區域，槽車槽體壓力 9.0 kg/cm^2 以上時需檢查槽車液位計是否已達灌裝液位。

三、灌裝結束後之程序

- 1.待槽車液位計已滿 (或流量計顯示已達預計灌裝量)，液位計噴口噴出白霧狀白煙。
- 2.按停輸送泵。
- 3.關泵浦出口閥，並確定泵浦已停止運轉。
- 4.關槽車安全閥及灌裝口阻閥 (液、氣相)。
- 5.關閉液相灌裝管線出口阻閥 (依高壓軟管、出口阻閥、第二阻閥、電磁閥)，並確定泵浦已停止運轉。
- 6.關閉氣相灌裝管線出口阻閥 (依高壓軟管出口阻閥/第二阻閥順序關閉)，並確定泵浦已停止運轉。
- 7.高壓軟管出口閥之廢氣閥打開排放廢氣，且確定廢氣吸附系統阻閥已打開並安裝完成。

- 8.打開槽車灌裝阻閥之廢氣排放閥確定已無餘氣後再關閉，且確定已無壓力存在，拆除時不可握閥之握把。
- 9.高壓軟管拆離並置放於墊木上。
- 10.將槽車灌裝口管帽（保護蓋）裝回並加封條。
- 11.槽車灌裝口保護箱蓋好並將止滑塊取出。
- 12.引導槽車離開。

7-3 液化石油氣加氣站卸收標準作業程序(SOP)

以下為液化石油氣加氣站卸收作業標準摘要：

一、卸收準備工作

1.值班站長

- (1) 氣槽車到達加氣站時，由值班站長指揮入站。
- (2) 引導氣槽車至適當卸收位置，並注意防止氣槽車碰觸儲槽、加氣機、護欄及其它車輛。
- (3) 核對調撥單、鉛封，確認氣品數量及儲槽之存量。
- (4) 記錄氣槽車運送之氣品之溫度、壓力、數量、運輸公司名稱、車號及駕駛員姓名等。
- (5) 確認已連結接地線。
- (6) 滅火器放置於上風約五公尺處。
- (7) 揭示「卸收作業中」等之警戒標示。
- (8) 打開卸收臂之鎖頭。

2.駕駛員

- (1) 氣槽車灌裝完畢後，駕駛應按指示路線駛往指定加氣站。
- (2) 駕車入加氣站後，駕駛人應拉緊手煞車、關閉所有電源開關，並取下引擎鑰匙，交由值班站長保管。
- (3) 放置輪檔於氣槽車後輪之前後。
- (4) 將調撥單交值班站長確認。

- (5) 接妥接地線。
- (6) 先輕輕開啟排氣閥，確定無內壓後關閉排氣閥，再打開快速接頭護蓋。
- (7) 連接液、氣態二管線之快速接頭。

二、開始卸收作業

1. 值班站長

- (1) 確認壓縮機進出口壓力平衡。
- (2) 徐徐打開壓縮機進口端液氣分離之排放閥。
- (3) 操作並確認四通閥在卸收位置。
- (4) 啟動壓縮機，注意進出口壓力值及運轉狀況，並記錄進出口壓力差應保持在每平方公分三公斤以內。
- (5) 共同確認液態管線上之目視窗，確認液體卸入氣槽。
- (6) 記錄卸入開始時間。
- (7) 共同在場警戒。

1. 駕駛員

- (1) 開啟氣槽車緊急斷閥。
- (2) 開啟氣槽車氣態管線各閥。
- (3) 開啟氣槽車液態管線各閥。
- (4) 共同確認液態管線上之目視窗，確認液體卸入氣槽。
- (5) 共同在場警戒。

三、卸收中作業

1. 值班站長

- (1) 共同監視地下儲槽、氣槽車、管線及壓縮機之使用狀況。
- (2) 共同監視卸收區之周圍狀況。
- (3) 嚴防地下儲槽卸入容量超過 90%。
- (4) 卸車時操作壓力不得超出槽體設計壓力每平方公分十八公斤。

2.駕駛員

- (1) 共同監視地下儲槽、氣槽車、管線及壓縮機之使用狀況。
- (2) 共同監視卸收區之周圍狀況。
- (3) 卸車時操作壓力不得超出槽體設計壓力每平方公分十八公斤。

四、卸收完畢作業

1.值班站長

- (1) 由目視窗或排液閥確認卸收完成。
- (2) 停止壓縮機運轉。
- (3) 關閉液態管線閥，並加以明確表示。
- (4) 打開氣態管之旁通閥二分鐘，使氣槽車及地下儲槽壓力平衡。
- (5) 關閉氣態管線閥及旁通閥，並加以明確表示。
- (6) 記錄卸收完成時間。
- (7) 由地下儲槽液位計，計算卸收數量與調撥單上容量是否符合。
- (8) 記錄地下儲槽及氣槽車之溫度、壓力、數量。
- (9) 確認液、氣態管線上主閥均已關閉。
- (10) 關妥排氣閥、排液閥，裝上快速接頭護蓋，並加封鉛。
- (11) 由值班站長在調撥單上簽收，還鑰匙，並確認氣槽車周圍已無液化石油氣後，取出輪檔，移離「卸收作業中」等警示，指揮氣槽車駛離加氣站並收回滅火器。
- (12) 氣槽車卸收時間不得超過兩小時。

2.駕駛員

- (1) 由目視窗或排液閥確認卸收完成。
- (2) 關閉液態管線閥，並加以明確表示。
- (3) 確認液、氣態管線上主閥均已關閉。
- (4) 關閉氣槽車之緊急遮斷閥。
- (5) 打開氣態管線快速接頭之排氣閥、排液閥，確定無內壓後，

拆下快速接頭。

- (6) 關妥排氣閥、排液閥，裝上快速接頭護蓋，並加封鉛。
- (7) 拆卸靜電接地線，蓋妥氣槽車操作箱蓋。
- (8) 由值班站長在調撥單上簽收，還鑰匙，並確認氣槽車周圍已無瓦斯氣體後，取出輪檔，移離「卸收作業中」等警示，指揮氣槽車駛離加氣站並收回滅火器。
- (9) 氣槽車卸收時間不得超過兩小時。

第八章 槽車運輸事故之緊急應變與規劃

8-1 灌裝與卸收作業區事故

針對液化石油氣灌裝場，提報之「緊急應變計畫」包括下列 4 項：

1. 緊急應變運作流程與組織
2. 緊急應變設備之置備與外援單位
3. 緊急應變演練計畫與演練記錄
4. 緊急應變計畫之修正

本計畫係遵照標準之緊急應變計畫，將灌裝場之緊急應變計畫災害等級區分為一、二、三、四等級，於第四級屬於擴及廠外之災害，其應變由地方政府主持，故本計畫中之敘述以一、二、三等級廠內災害應變為主。

緊急應變運作流程與組織

一、應變組織架構與權責

(1) 災害種類與危害規模

液化石油氣灌裝場可能發生之災害為高壓氣體洩漏，為了有效運用人力實施應變，將訂定緊急應變救災作業指引程序如圖 8-1。

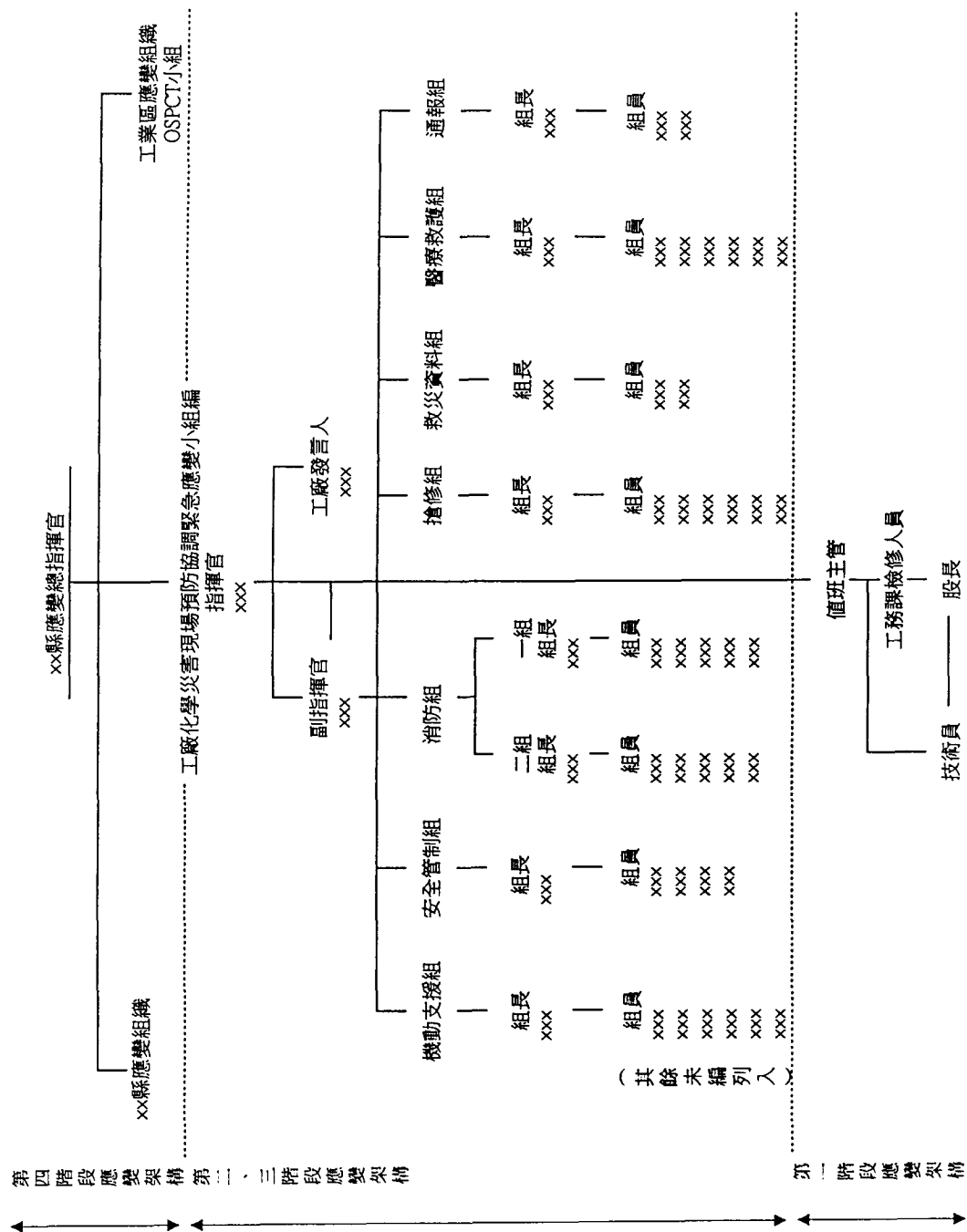


圖 8-1 液化石油氣灌裝場之緊急應變組織架構

等級應變觀念為灌裝場整體緊急應變計畫規劃過程中很重要的一環，所謂等級應變就是將災害依規模或程度定義成不同的等級，俾以不同的應變能力解決不同的災變，當災變嚴重性升級時，應變能力

亦將相對地升級，其等級區分：第一階段為災害限於場內，尚不須請求廠內應變小組支援，而場內可以處理。第二階段為災害限於場內，但須請求廠內應變小組支援。第三階段為災害擴及場外至整個廠區須請求廠內應變小組支援，但未擴及廠外。第四階段為災害擴及廠外之災害。

(2)組織架構

液化石油氣灌裝場四個階段應變之指揮職責，第一、第二及第三階段災變的指揮權在本廠，而第四階段應變的指揮權是以縣市應變指揮中心為主，灌裝場為輔，但對於灌裝場內之指揮權仍以灌裝場為主。

(3)緊急應變組織各組工作權責

(一)應變指揮官

- 1.負責掌握應變組織各組織運作，瞭解災害之發展狀況。
- 2.綜合應變組織各負責人之意見，決定是否向上級提出應變支援。
- 3.授權工廠發言人對新聞從業人員發布災情報告。
- 4.經判定後負責下達工廠停機及員工疏散之命令。
- 5.盡一切努力將人員、設備、環境之損失降至最低。

(二)副指揮官

- 1.代理指揮官執行任務。
- 2.臨時指派支援人員，協助各項救災事宜。
- 3.指揮支援人員做災後清理工作。

(三)值班主管

- 1.接獲意外狀況時，實施第一階段應變。
- 2.注意警戒及停止一切動火作業。
- 3.發出警報及廣播，並通知應變指揮官或安全管理師，請求緊急應變小組支援。
- 4.負責災後清理工作。

(四)搶修組

平時全組人員應對廠內各儲槽、設備、管路之儲存有更深入之了解，並熟悉搶修工具之使用方法。接獲狀況發生時：

- 1.組長立即集合全體組員。
- 2.根據資料組提供之資訊著適當之防護具及準備搶修工具。
- 3.組長將災情通知應變指揮官。
- 4.組長對未連絡上之組員作臨時派定。
- 5.組長指示執行搶修措施。
- 6.負責災區搶修及止漏等事宜。
- 7.接受指示執行停車事宜。

(五)消防組

- 1.組長立即集合全體組員。
- 2.組長將災情通知應變指揮官。
- 3.組長對未連絡上之人員作臨時派定。
- 4.準備消防等必備之設備及器材隨時待命。
- 5.火災發生時執行消防救災之工作。
- 6.將傷患移至救護中心。

(六)醫療救護組

- 1.成立救護中心。
- 2.將傷患送至救護中心，實施緊急救護措施。
- 3.協助救護車將傷患送醫。

(七)救災資料組

- 1.對發生災害之物質提出 MSDS 表，以提供各組搶救災之參考。
- 2.提供適當防護具之資訊。
- 3.負責對災變提供現有救災設備及附近可支援的設備之資料。

(八)安全管制組

- 1.對災區之警戒。
- 2.廠內負責封鎖災區交通及人員管制。

3.廠外負責交通及人員管制以及人員疏散。

(九)通報組

- 1.災害發生時負責通知消防隊、環保局、警察局、勞檢所、鄉公所、醫院及 OSPCT 小組目前災害情況及處理情況。
- 2.災害擴及第四級時，通報附近工廠及附近居民。
- 3.負責通知上述單位狀況解除。
- 4.負責指揮官臨時指示之通報工作。

(十)機動支援組

- 1.負責副指揮官臨時指派之支援工作。
- 2.協助成立指揮中心及安全管理中心。
- 3.協助各組整裝之準備。
- 4.成立偵測隊，負責災區之毒性、可燃性氣體之偵測。
- 5.負責災後災區之偵測及清理工作。

二、緊急應變控制中心位置與設施

液化石油氣灌裝場緊急指揮中心應於辦公室大樓附近，另應設有安管中心於守衛室，以作平日應變之聯絡中心，至緊急指揮中心運作後接管該中心；若緊急指揮中心處於危險狀況，應予以撤退，由灌裝場緊急應變總指揮另行決定再設置臨時緊急指揮中心，灌裝場緊急指揮中心成立時應備有下列設備：

- (1)緊急應變計畫書。
- (2)工廠配置圖和鄰近地區地圖。
- (3)工廠內、外參與應變工作人員和組織的電話資料。
- (4)廠內外連絡通訊設備(含電話、無線電、傳真機……)。
- (5)緊急照明。
- (6)通訊、警告記錄文件和設施(通訊記錄表，錄音機)。
- (7)收音機。
- (8)個人防護設備。

(9)人員清點名冊。

三、緊急應變運作流程及說明

1.計畫運作流程及說明

液化石油氣灌裝場緊急應變計畫運作流程如圖 8-2 所示：

(1)經由偵測器或目擊者察覺災害並確認災害已發生。

(2)以現場電話或親自向課長報告下列資料：a.報告人姓名 b.事故發生地點 c.事故型態。

(3)課長擔任現場指揮，指揮第一階段應變計畫進行搶救。

(4)若為第二、三、四階段等級災害，則發佈全廠警報、執行第二、三、四階段應變計畫。

(5)課長接管事故指揮，負責到廠長或指定之代理主管接管為止。

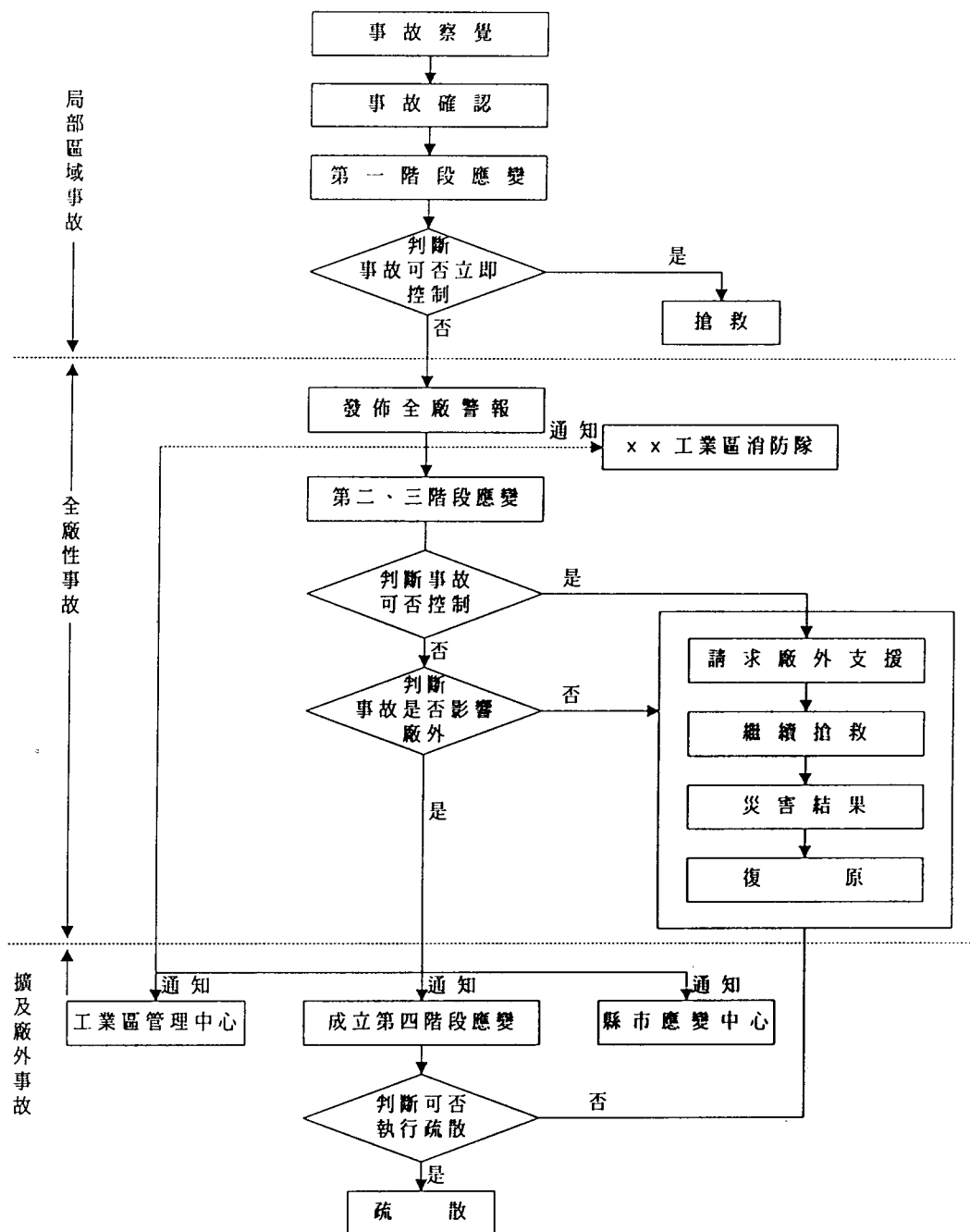


圖 8-2 液化石油氣灌裝場緊急應變計畫運作流程

- (6)判斷是否須緊急停車及隔離災區。
- (7)準備緊急應變計畫及動員應變人員和設備，並請求廠外支援。
- (8)確定所有應變單位之通知已完成。
- (9)若災害有波及廠外之可能，則執行第四階段之應變計畫，由副總經理擔任工廠應變總指揮並通知縣市應變中心。
- (10)若災害持續擴大而無法控制，則下令人員疏散。

(11)確定所有人員已完成疏散行動。

2.廠內外通報程序

灌裝場內外通報流程如圖 8-3 所示。

3.通報內容須包括

- (1)通報人姓名
- (2)通報時間
- (3)意外災害地點
- (4)意外狀況描述
- (5)傷亡情形報告
- (6)已經或即刻將作之處理
- (7)可能需要之協助

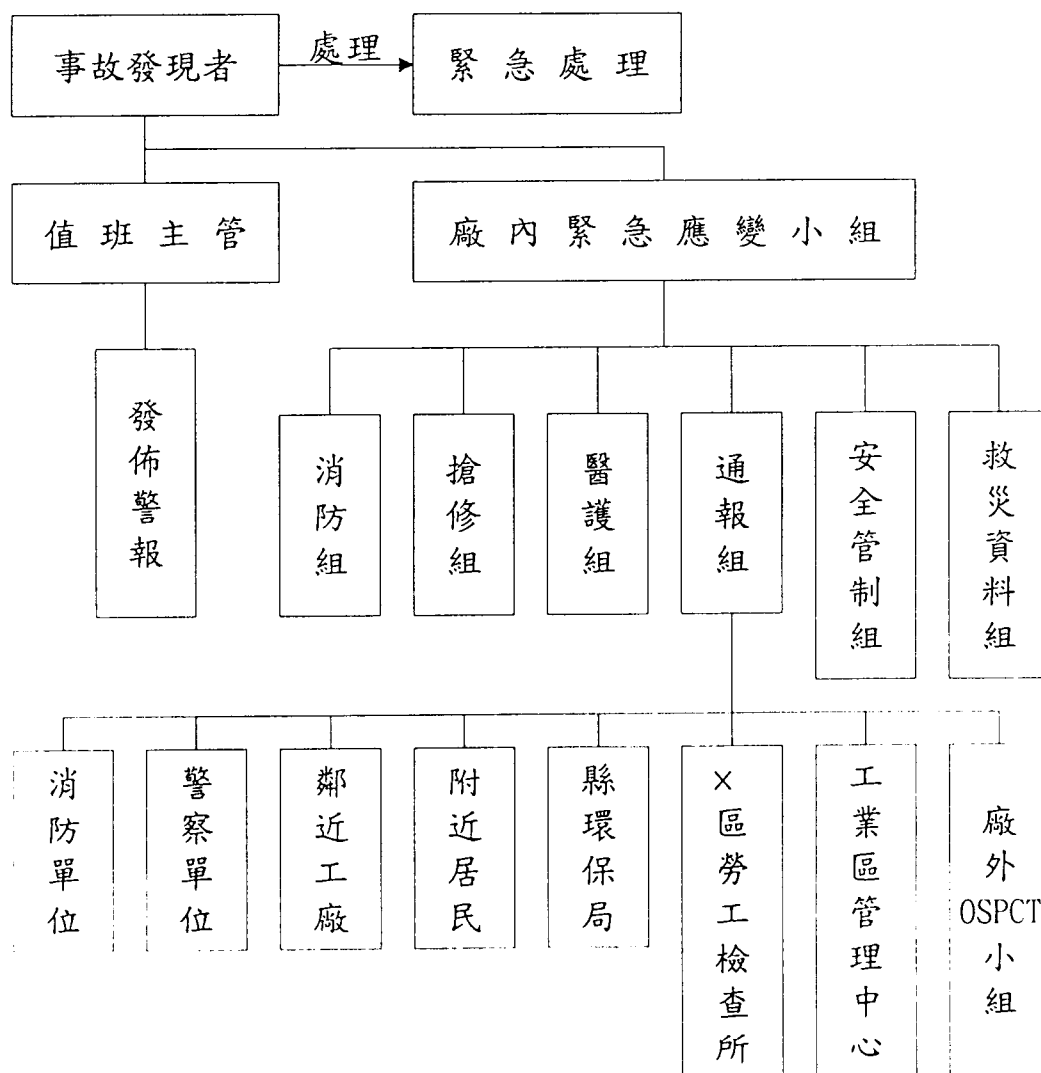


圖 8-3 灌裝場內外通報程序及連絡系統

4. 規劃廠內外人員疏散

(1) 疏散時機

發出高頻波動「逃離」信號警報(現場責任及工作區分)，原則上仍按本計畫實施；

a. 此訊號表示氣體大量外洩至情況無法控制(如儲槽、容器、管件破裂而無法控制)。

b. 此訊號發出後除操作人員外，其餘人應迅速撤離廠區至集合中心

(2) 疏散運輸工具通常工廠人員疏散可利用自用車疏散。

(3)疏散路線與集合地點：

- a.灌裝場辦公室與守衛室前廣場。
- b.假如已知液化石油氣外洩之來源，所有人員應該前往集合中心，勿再進入污染區內。
- c.所有人員往集合中心之逃難路線。

5.急救與復原

在應變作業及人員疏散作業中，經常會有人員受到傷害，除了將傷患緊急送醫，在救護車尚未到達或尚未送到醫院之前如何先保護傷患防止其傷害惡化，唯有適當的急救處理為首要，本廠所使用之化學物質的物質安全資料表 (MSDS) 或急救處理要領可提供應變人員重要的資訊。

灌裝場之復原計畫分為三個階段：

- (1)再進入災區：此階段工作要務為判定災區之安全性，偵測是否有氣體殘存、脆弱槽體、危險建築等潛在危害存在。
- (2)災區清理：包括殘存物質清理回收工作及設備殘骸之清理和恢復工作。
- (3)再運作：俟各工場狀況合乎開車條件時，依開車檢核表檢核符合後，恢復生產操作。

在復原計畫開始執行時，偵測隊成立，其餘應變組織在總指揮之指導下進行復原工作。

緊急應變設備之置備與外援單位

灌裝場內之應變資源包括消防系統、搶救設備、個人防護具、急救設備、通訊器材及偵測器材。而灌裝場外之應變資源於工業區 OSPCT 小組中。有關設備均存放控制室及其它安全易取之處，以利勞工緊急時便利使用。

緊急應變演練計畫與演練紀錄

灌裝場必須於每年定期舉行緊急應變訓練及演習，藉訓練使員工了解應變技巧，藉演習使員工熟習應變動作，並藉以評估緊急應變計畫之可行性。

緊急應變計畫之修正

緊急應變計畫的規劃，大都依本身經驗及類似工廠的事故災害經驗所擬訂。因此，不可能完全適應真正的災情，所以每年定期檢討修訂，灌裝場修訂之時機考量如下所示：

- (1)工廠製程修改、擴建、變更。
- (2)客觀環境改變時，如人口、道路、醫院…。
- (3)救災設備更動時。
- (4)實際災變檢討之結果。
- (5)教育訓練的檢討結果。
- (6)模擬演練結果檢討。
- (7)與廠外單位協調之結論。
- (8)配合政府法令之實施。
- (9)廠內人員組織之異動。

8-2 道路運輸事故

公路運輸之風險分析，需具有危害與風險評估經驗的專業人員為之，因其所考慮之分析因素相當多，且某些統計數字資料及模擬事故發生狀況均具不確定性，在所假設之狀況及資料應合乎常理及合乎邏輯，所運算之結果較易為人所接受，圖 8-4 為公路運輸風險分析流程 [30]：

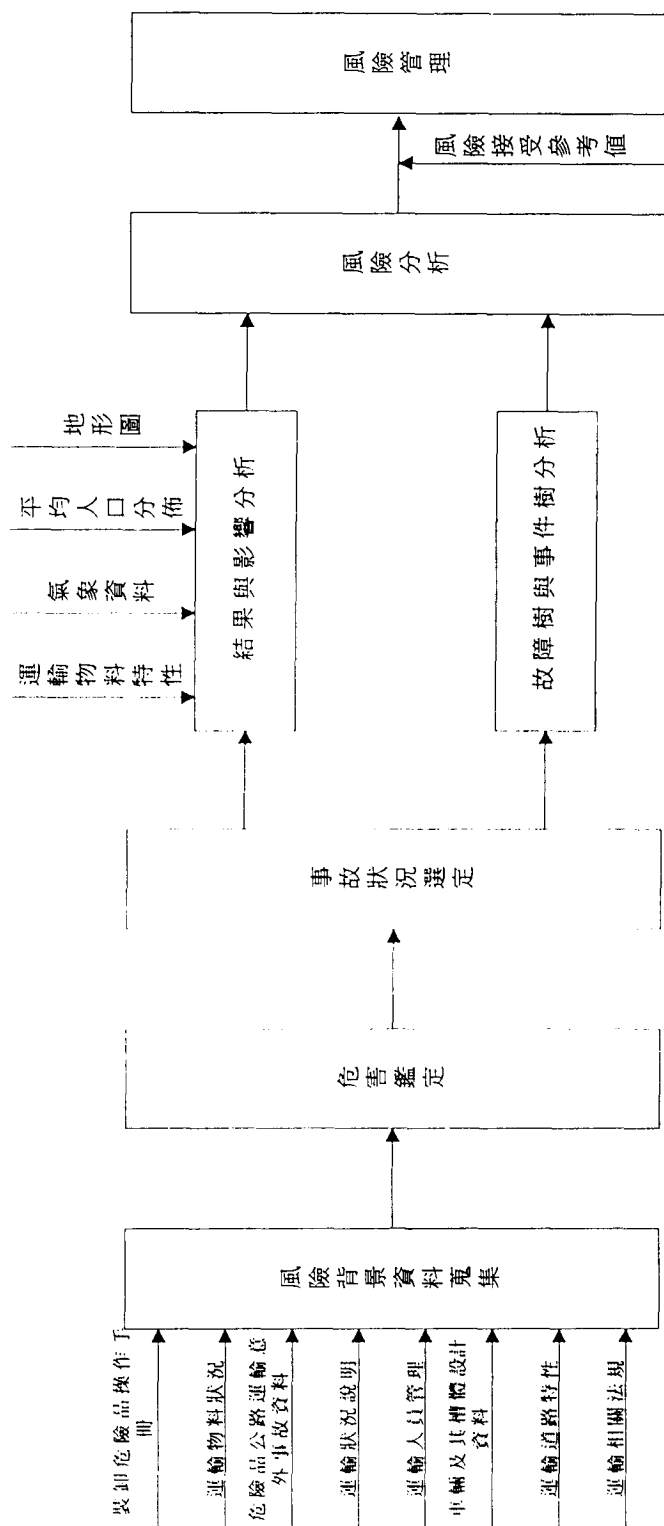


圖 8-4 公路運輸风险分析流程圖

氣槽車在運輸過程中為避免災害發生，應遵照危險物品運輸規定，需經當地監理機關核准。並遵照監理機關規定之行車時間以及運輸路線行駛，遵守交通規則，避免急速剎車或轉彎。因容器重，慣性距相當大，槽車本體不能與其它物件發生摩擦或激烈撞擊以免產生熱及火花，而發生危險。

由於液化石油氣屬高壓危險化學品，為確保運輸上之安全，所有液化石油氣之氣槽車於行車前均需作檢查外，在一定時間內作定期保養與檢查。

道路運輸事故現場緊急連絡順序如圖 8-5 所示。液化石油氣在運輸過程中若發生洩漏情況時應迅速依下列步驟處理：

- 1.若發生洩漏時，應迅速將氣槽車駛往交通流量稀少之側路，或空曠地區。
- 2.將車停下，人員即以濕布蓋住鼻子，跑向上風位置，並避免作深呼吸，以防吸入過多之液化石油氣而窒息。
- 3.警告附近居民，緊急疏散至附近安全地區。
- 4.立即通知附近友廠前往支援處理，並設法聯絡消防單位前往搶救。
- 5.迅速穿戴防毒面具、防護衣及手套等，設法緊急搶救並關閉鬆脫之閥。
- 6.若附近有水源，設法大量噴水冷卻保護槽體，如發生火災，可降低槽體溫度，以免槽體溫度過高而爆炸。

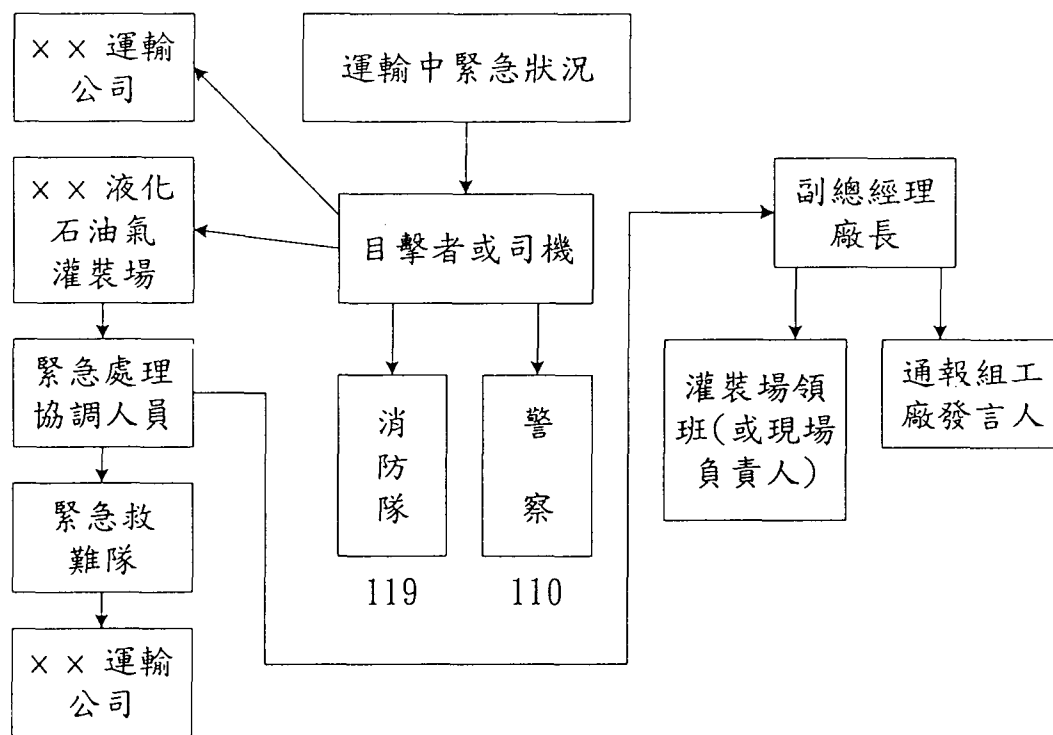


圖 8-5 道路運輸事故現場緊急連絡順序

第九章 結論與建議

結論

化工廠內槽車灌裝區可說是化學品輸、儲作業中深具潛在危害的區域，若因天然災害、人為疏失或機械故障等因素而引起火災爆炸時，往往因搶救不易而導至重大的財產損失及人員傷亡。液化石油氣槽車引起的事故，於國內最近的案例，為 87 年 2 月 27 日高雄縣林園鄉某液化石油氣灌裝場發生氣槽車爆炸，造成四死四十四輕重傷，其中還包括數名消防人員。據統計指出，化學品儲運的時間約佔全部生產過程百分之七十，在正常狀況下，佔生產成本百分之三十；但是如果發生意外，則可能血本無歸。因此，應盡量減少儲運作業，否則必須確實執行化學品儲存與運輸作業安全。本計畫主要研究項目包括：闡釋油罐車與氣槽車之硬體設計、詮釋靜電控制上之安全理念、評估灌裝/卸收作業之環保與工安理念、分析槽車事故之原因、進行槽車安全評估與事故之後果分析、闡揚槽車在灌裝與卸收作業之安全作業標準、提出槽車之運輸安全及槽車事故發生時之因應對策等。本研究對槽車之安全設計理念、運輸安全及槽區之灌裝及卸收作業具有參考價值。

建議

1. 槽車之灌裝及卸收作業，均須注意其設備及作業管理之安全，因為萬一發生事故，極易造成嚴重災害，乃至驚動社會。過去槽車造成災害事故主因有：
 - (1) 在公路上行駛，不慎翻車，撞及公共設施發生洩漏。
 - (2) 進入灌裝區，不慎碰及高壓設備發生洩漏。
 - (3) 裝卸作業中，車輛滑動，拉斷軟管發生洩漏。
 - (4) 裝卸作業中，快速接頭未接牢而脫落發生洩漏，或泵浦抽空過熱引燃。

2. 許多槽車之承包商及司機在金錢的誘惑下，不顧其工作量，超時、超速、超載駕駛，容易導致司機過度疲勞，稍一疏忽即可能失控而引發重大事故。
3. 有些分裝場離提氣地點相當遙遠，間接也提昇運輸安全的顧慮，尤其是在炎炎夏日時的運輸，應避免氣槽車受長時間的曝曬。
4. 現今的法規中，對於槽車附屬安全設備之規定已相當完備，除了將本質更安全 (inherently safer) 的理念加入硬體上的設計外，亦需重視保養與維修，若缺乏保養，事故發生時也無法發揮其效能，因此需定期保養及檢查其附屬安全設備 (如氣液相緊急遮斷閥、超流閥等等)，使其能在適時發揮效用。
5. 民國 87 年初曾發生油罐車承包商載運奇美公司貨品在高速公路上翻覆事件，事件發生原因為油罐車後面的保險槓和槽體間的距離間隔太短，導致碰撞後，傷及槽體。因此必須將保險槓及槽體間的距離加大，以避免類似事件再度重演，釀成重大災害。液化石油氣槽車現階段 CNS 規定槽體與保險槓距離為 30 公分，氣槽車背後若有額外空間 (容納遙控式緊急遮斷桿、踏板等等)，則其安全距離加長為 60 公分，應更可確保行車安全。
6. 在高雄林園事件中，槽車於灌裝作業時，司機未離開駕駛座，且誤判灌裝作業已完成，而將槽車駛離，造成管線斷裂。針對國人駕駛惡習，可於槽車中加裝「防止駛離裝置」，其裝置可在灌裝作業時，以氣動式剎車裝置將槽車固定住，以防止灌裝作業中槽車駛離。
7. 為避免類似高雄林園事件再次發生，可於灌裝島上之灌裝輸送管線及氣槽車槽體內之液、氣相緊急遮斷閥中均加裝超流閥，使其於流量異常時會自動關閉。
8. 在工廠中常有許多的車輛進出，而這些車輛的排氣管所產生的火花，可能會引燃周圍洩漏的可燃氣，而引發火災。因此，建議規

定每一輛氣槽車皆須加裝車輛熄燄器，以避免排氣管火花的排出，保障工廠設備財產的安全。

9. 於灌裝及卸收作業時，灌裝及卸收液體與管線摩擦均會產生靜電，若速度過快靜電電流電壓過高，若無有效接地，遇到火花會引發爆炸；因此，於灌裝及卸收作業時，應規定其灌裝及卸收速度或總時間在安全之範圍內。
10. 製程安全管理 (PSM) 中包含製程安全資料、製程危害分析、操作手冊、員工參與、人員訓練、承攬商管理、試車前安全評估、設備完整體、動火許可、製程變更管理、意外事故調查、緊急應變計畫、稽核共計十三項，其訂定之主要目的在於確保高危害性化學物質作業場所之工安，俾能防止重大意外事故發生。而槽車灌裝及卸收場亦可依此管則原則來評比其安全等級，例如：若以上之規定皆俱備，則為甲級；若僅有少數幾項不符合規定，則為乙級；若有多項不項符合規定，則為丙級，需加強檢核。

誌謝

感謝行政院國家科學委員會與中國石油公司「石油暨石化產業科技學術合作」提供研究經費，俾使此計畫得以順利完成。

參考文獻

- [1] Birk, A.M., and Cunningham, M.H., 1994, "The Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion," J. Loss Prev. Process Ind., 7(6): 474-480.
- [2] Pietersen, C.M., and Huerta, S.C., 1985, "Analysis of the LPG Incident in San Juan Ixhuatepec, Mexico City", 19 Nov. 1984, "TNO Report B40222, P.O. Box342, 7300 AH, Apeldoorn, The Netherlands.
- [3] Prugh, R.W., 1991; "Quantify BLEVE Hazards," Chem. Eng. Prog., (2): 66-72.
- [4] Shebeko, Yn. N., et al., 1996, "BLEVE Prevention Using Vent Devices," J. Hazard. Mater., (50):227-238.
- [5] Garrison, W.G., 1986, "One Hundred Largest Losses - A Thirty-year Review of Property Damage Losses in the Hydrocarbon-Chemical Industries," Ninth Edition, M&M Protection Consultants, Chicago, Ill.
- [6] Crowl, D.A. and J.F. Louvar, *Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications*, Prentice Hall: New Jersey, USA, p.201, 1990.
- [7] 劉炳材, "國內液化石油氣槽車承造程序", 車輛公會會訊第 44 期, 民國 86 年 9 月, 第 64 頁。
- [8] 行政院勞工委員會, "液化石油氣灌裝場設備安全作業標準", 1992 年 5 月。
- [9] 段開紀, "靜電與油料安全", 工業污染防治, 民國 74 年 10 月, 四卷, 四期, 第 188-189 頁。
- [10] Eichel, F.G., 1967; "Electrostatics", Chem. Eng., Mar. 13: 153-167.
- [11] 陳錫仁, 林頌評, 龔晉立, 1999, "油罐車日曬之數學模式與其槽體破孔洩漏解析", 高雄, 台灣, 輸送現象與其應用專題研討會專輯, pp.55-58。
- [12] Raphael, J.M., "Prediction of Temperature in Rivers and Reservoirs," Proc. Amer. Soc. Civ. Eng., J. Power Division, 88, 157-165 (1962).
- [13] Burden, R.L. and J.D. Faires, *Numerical Analysis*, PWS-Kent Publishing Co.: Boston, MA. 1993.
- [14] Shampine, L.F., R.C. Allen Jr., and S. Pruess, *Fundamentals of Numerical Computing*, John Wiley & Sons: New York, 1997.
- [15] Chen, H. J., M. H. Lin, and F. Y. Chao, 1998, "Thermal Response Model and Thermal Risk Analysis for LPG Storage", J. Chin. Inst. Chem. Engrs., vol. 29, no. 1, pp. 45-53.
- [16] Chen, H. J., M. H. Lin, and F. Y. Chao, 1999, "Thermal Response

- Analyses for Spherical LPG Storage Tank”, J. Chem. Eng. Japan, vol. 32, no. 1, pp.153-157.
- [17] 張夙萱, "液化石油氣槽車灌裝與卸收作業之安全評估", 淡江大學化學工程系碩士班碩士論文, 民國 88 年 6 月。
 - [18] Hadjisophocleous, G.V., A.C.M. Sousa and J.E.S. Venart, 1990, "Mathematical Modelling of LPG Tank Subjected to Full and Partial Fire Engulfment," Int. J. Numer. Methods Eng., 30, 629.
 - [19] Holman, J.P., *Heat Transfer*, 7th ed. In SI units, McGraw-Hill: New York, p.354, 1954.
 - [20] Mills, A.F. *Heat Transfer*, Prentice Hall: New Jersey, p.636, 1992.
 - [21] API 2510A, Fire-Protection Considerations for the Design and Operation of LPG Storage Facilities, 1989.
 - [22] Hardee, H.C. and D.J. Lee, "A Simple Conduction Model for Skin Burns Resulting from Exposure to Chemical Fireball", Fire Research, (1): 199-205, (1977).
 - [23] Eisenberg, N.A. et al., "Vulnerability Model-A Simulation System for Assessing Damage Resulting from Marine Spills", U.S. Coast Guard, Office of Research and Development, Report No. CG-D-136-75, NTISAD-015-245, Springfield, VA. (1975).
 - [24] Crawl, D.A. and J.F. Louvar, *Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications*, Prentice Hall: New Jersey, p.37, 64, 1990.
 - [25] 陳錫仁, 林滿興, 趙富源, 吳鴻鈞, 張承明, "球形瓦斯儲槽之熱效應模式與相關法規研究", 勞工安全衛生研究季刊, 第六卷第四期, 第 45-60 頁, 民國 87 年 12 月。
 - [26] AIChE/CCPS, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers, p.126, New York, 1989.
 - [27] Pietersen, C.M., 1988, "Analysis of the LPG-Disaster in Mexico City", J. Hazard. Mater., 20, 85.
 - [28] Roberts, A.F., 1981, "Thermal Radiation Hazards from Releases of LPG from Pressurized Storage", Fire Safety J., (3): 197, 4.
 - [29] Hymes, I. "The Physiological and Pathological Effects of Thermal Radiation", *UKAEA Safety and Reliability Directorate*, Report SRD R275, Culcheth, UK (1983).
 - [30] 蕭世欽, "公路槽車運輸風險分析技術", 工業安全科技, 經濟部工業局, 第 18 卷, 1995。